

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



## **Caracterização e Gestão de Consumos na Indústria de Fabrico de Pneus**

**João Luís Andrade Basílio**

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Major Energia

Orientador: Professor Doutor Cláudio Domingos Martins Monteiro  
Co-orientador: Eng. Técnico Jorge Alberto Rodrigues dos Santos Marques

Julho de 2014



A Dissertação intitulada

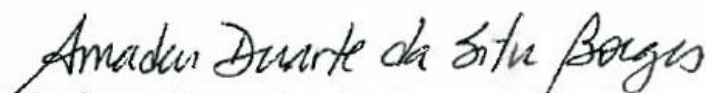
***“Caracterização e Gestão de Consumos na Indústria de Fabrico de Pneus”***

foi aprovada em provas realizadas em 21-07-2014

o júri



**Presidente Professor Doutor Carlos Manuel de Araújo Sá**  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Professor Doutor Amadeu Duarte da Silva Borges**  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharias da Escola de Ciências e  
Tecnologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro



**Professor Doutor Cláudio Domingos Martins Monteiro**  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.



**Autor - João Luís Andrade Basílio**

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



# Resumo

Na indústria de fabrico de pneus a componente energética representa uma parte importante dos custos do produto final. Os consumos energéticos específicos dependem do tipo de produto a ser fabricado, das matérias-primas utilizadas e dos processos e tecnologias de fabrico. Pretende-se com esta dissertação fazer uma caracterização dos consumos energéticos específicos de cada processo, cruzando registos de informação dos consumos verificados com informação de fluxo de matérias-primas utilizadas e quantidades produzidas para os diversos compostos. Com esta caracterização será possível definir padrões de consumo específico que servirão de base para a integração de indicadores de desempenho do processo de produção num sistema de avaliação periódica do desempenho energético da fábrica. Assim, é proporcionada uma base de conhecimento de indicadores de desempenho, que poderá levar ao desenvolvimento de novas metodologias de planeamento automatizado de produção, extensíveis a outras fábricas do Grupo Continental. A caracterização de padrões de consumo específicos permitirá uma melhor gestão dos custos associados aos processos de fabrico do produto final, assim como do custo do consumo de energia elétrica total. Esta gestão possibilitará, em média, uma poupança imediata de 10.000 a 100.000 euros por ano. O estudo dos sistemas energéticos da fábrica permitirá também a identificação de potenciais medidas de eficiência energética.

Palavras-chave: Caracterização Energética; Gestão Energética; Eficiência Energética; Consumo Específico de Energia; Padrões de Consumo; Indicadores de Desempenho.



# Abstract

*In the tire manufacturing industry, energy is an important component of the cost of the final product. The specific energy consumption depends on the type of product being manufactured, the raw materials used and the manufacturing processes and technologies. The aim of this thesis is to do a characterization of the specific energy consumption of each one of these processes, crossing the information records of the verified intakes with information from the flow of raw materials and production quantities for the various compounds. With this characterization it will be possible to identify patterns of specific consumption, that will define a baseline for the integration of key performance indicators of the production process, in a system of periodic assessment of the factory energy performance. Thus, it is provided a knowledge base of performance indicators, which may lead to the development of new methodologies for automated production planning, extendible to other plants from Continental AG. The characterization of reference consumption patterns will allow a better management of costs associated with the manufacturing processes of the final product, as well as the cost of the total electricity usage. This management will enable, on average, immediate savings of 10.000 to 100.000 Euro per year. The study of the plant's energy systems will also allow the identification of potential energy efficiency measures.*

*Key Words: Energy Characterization; Energy Management; Energy Efficiency; Specific Energy Consumption; Consumption Patterns; Key Performance Indicators.*





# Agradecimentos

À Continental Mabor - Indústria de Pneus, S.A., que através da promoção do Prémio ContiBest permitiu a oportunidade de realizar um estágio curricular que levou à realização da dissertação em ambiente empresarial.

Ao Professor Cláudio Monteiro pela orientação do trabalho, empenho pela qualidade desta dissertação, e pela confiança depositada nas minhas capacidades.

Ao Engenheiro Técnico Jorge Marques pelo apoio e orientação no desenvolvimento do trabalho no ambiente da empresa, e pela confiança no meu trabalho.

À Engenheira Filipa Trigo, do Departamento de Energia e Infraestruturas, pela boa receção e apresentação da empresa, assim como pelas orientações iniciais.

Ao Jorge Silva, do Departamento de Produção, por toda a formação relativa à área da Misturação e pelo interesse na concretização do trabalho.

Ao Engenheiro Sebastião Gomes, da Direção de Engenharia, pelo interesse e apoio ao desenvolvimento do trabalho.

Ao Engenheiro Joaquim Ascensão, do Departamento de Engenharia I, pela cooperação na verificação do documento da dissertação.

A todos os colaboradores do Departamento de Energia e Infraestruturas, pela disponibilidade, pelo acolhimento e pela amizade.

Aos meus pais, por todo o apoio e dedicação prestados.

À Sara, por todo o apoio incondicional.

Aos meus amigos e colegas, pelo apoio e por acreditarem no meu sucesso.

A todos, muito obrigado!



*“Efficiency is doing things right; effectiveness is doing the right things.”*

Peter Drucker



# Índice

Resumo .....	v
Abstract.....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice.....	xiii
Lista de Figuras .....	xv
Lista de Tabelas .....	xix
Abreviaturas e Símbolos .....	xxiii
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
Introdução.....	1
1.1 - Enquadramento e Motivação.....	1
1.2 - Objetivos .....	3
1.3 - Metodologia .....	4
1.4 - Organização da Dissertação .....	6
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>7</b>
A Empresa: Continental Mabor, Indústria de Pneus S.A. ....	7
2.1 - A Continental Mabor.....	7
2.2 - Áreas de Processo de Fabrico da Continental Mabor .....	8
2.2.1 - Misturação.....	9
2.2.2 - Preparação .....	10
2.2.3 - Construção .....	11
2.2.4 - Vulcanização .....	12
2.2.5 - Inspeção Final .....	12
2.3 - Setor de Estudo: Misturação .....	13
2.3.1 - Equipamentos: Misturadoras .....	13
2.3.2 - Produtos Resultantes: Compostos.....	15
2.4 - Sistema Elétrico de Energia da Continental Mabor .....	19
2.4.1 - Rede Elétrica de Média Tensão.....	19
2.4.2 - Tarifário Elétrico.....	21
2.5 - Sistema de Avaliação de Indicadores de Desempenho da Continental Mabor.....	22
2.5.1 - Indicadores de Desempenho na Indústria.....	22
2.5.2 - Indicadores de Desempenho na Continental Mabor.....	25

<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>27</b>
Metodologia de Processamento de Dados .....	27
3.1 - Processo e Ferramentas de Recolha de Dados.....	27
3.1.1 - Ferramenta <i>Messdas</i> .....	28
3.1.2 - Ferramenta <i>Mixer Control Center</i> .....	31
3.2 - Processamento e Organização de Dados Recolhidos.....	37
3.3 - Análise dos Consumos Energéticos.....	41
3.4 - Tratamento de Dados Inconsistentes.....	44
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>47</b>
Caracterização Energética dos Processos na Área da Misturação .....	47
4.1 - Identificação da Misturadora mais utilizada no fabrico de cada Composto .....	48
4.2 - Caracterização do Consumo/Custo Energético das Misturadoras .....	49
4.3 - Caracterização do Consumo Energético dos Compostos .....	53
4.3.1 - Consumo Específico Médio .....	53
4.3.2 - Consumo Específico por Misturadora .....	57
4.4 - Caracterização do Custo Energético dos Compostos .....	62
4.4.1 - Custo Energético Médio .....	62
4.4.2 - Custo Energético por Misturadora .....	64
4.5 - Indicadores de Consumo Energético dos Compostos .....	66
4.5.1 - Determinação dos Indicadores de Desempenho .....	66
4.5.2 - Metodologia de Avaliação dos Indicadores de Consumo Energético .....	74
4.5.3 - Identificação de Variáveis de Causalidade .....	75
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>77</b>
Gestão Energética dos Processos na Área da Misturação .....	77
5.1 - Cenários de Produção de Compostos Analisados .....	77
5.2 - Gestão Energética dos Cenários de Produção .....	79
5.2.1 - Cenário 1 .....	80
5.2.2 - Cenário 2 .....	82
5.2.3 - Cenário 3 .....	84
5.2.4 - Cenário 4 .....	87
5.2.5 - Cenário 5 .....	88
5.2.6 - Cenário 6 .....	90
5.2.7 - Cenário 7 .....	92
5.2.8 - Cenário 8 .....	94
5.2.9 - Resumo das poupanças de custos de produção .....	95
5.3 - Processo de Gestão Energética das Ordens de Produção de Compostos .....	96
<b>Capítulo 6 .....</b>	<b>99</b>
Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro .....	99
6.1 - Conclusões .....	99
6.2 - Perspetivas de Trabalho Futuro .....	103
<b>Referências .....</b>	<b>105</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>107</b>
A. Resultados Completos .....	107

## Lista de Figuras

<b>Figura 2.1</b> - Esquema Modular da Linha de Produção da Continental Mabor [8]. .....	8
<b>Figura 2.2</b> - Delimitação dos Setores do Processo de Fabrico na planta da Continental Mabor. ....	9
<b>Figura 2.3</b> - Delimitação do Setor de Misturação. ....	10
<b>Figura 2.4</b> - Delimitação do Setor de Preparação. ....	10
<b>Figura 2.5</b> - Delimitação do Setor de Construção. ....	11
<b>Figura 2.6</b> - Delimitação do Setor de Vulcanização. ....	12
<b>Figura 2.7</b> - Delimitação do Setor de Inspeção Final. ....	12
<b>Figura 2.8</b> - Impacto (%) da Misturação no Consumo (kWh) Geral da Fábrica [9]. ....	13
<b>Figura 2.9</b> - Gráfico do Consumo Energético (kWh) do Motor Principal de cada Misturadora[9]. ....	14
<b>Figura 2.10</b> - Representação da constituição de um pneu <i>standard</i> em termos de componentes e compostos [8]. ....	15
<b>Figura 2.11</b> - Processo geral de fabrico da fase <i>Master Batch</i> de um composto [8]. ....	16
<b>Figura 2.12</b> - Processo geral de fabrico da fase <i>Final Mix</i> de um composto [8]. ....	17
<b>Figura 2.13</b> - Diagrama da Rede de Média de Tensão que alimenta os setores do processo de fabrico da Continental Mabor. ....	20
<b>Figura 2.14</b> - Processo de controlo de uma metodologia de avaliação de desempenho [14]. ....	25
<b>Figura 2.15</b> - Tabela com os indicadores de desempenho avaliados semanalmente na Continental Mabor, com os respetivos valores de referência, valores atuais, unidade e avaliação semanal [12]. ....	26
<b>Figura 2.16</b> - Gráfico de comparação do indicador de consumo elétrico geral da Área da Misturação com o valor referência do respetivo indicador de desempenho [12]. ....	26
<b>Figura 3.1</b> - Sinótico de visualização do setor da Misturação contendo os consumos energéticos instantâneos (kW) por misturadora, e os consumos gerais do setor, instantâneo e acumulado (kWh). ....	28

<b>Figura 3.2</b> - Menu inicial do Sistema de Gestão de Energia <i>Messdas</i> . ....	29
<b>Figura 3.3</b> - Menu de configuração de alarmes para variações de consumo energético (kWh) no motor principal da Misturadora 4. ....	30
<b>Figura 3.4</b> - Menu de seleção de dados a extrair relativos aos consumos energéticos acumulados dos motores principais das misturadoras. ....	30
<b>Figura 3.5</b> - Menu inicial do <i>software Mixer Control Center</i> , para a Misturadora 1. ....	32
<b>Figura 3.6</b> - Lista da ordem de compostos a serem produzidos no instante de consulta, para todas as misturadoras, no dia 20/05/2014. ....	33
<b>Figura 3.7</b> - Valores reais das grandezas registadas pelo <i>software</i> de controlo da Misturação, para um dado <i>batch</i> de um composto aleatório. ....	33
<b>Figura 3.8</b> - Gráfico da evolução temporal das grandezas registadas pelo <i>software Mixer Control Center</i> , para um dado <i>batch</i> de um composto aleatório (mesmo <i>batch</i> e mesmo composto que a figura anterior). ....	34
<b>Figura 3.9</b> - Menu do <i>software Mixer Control Center</i> de exportação de dados relativos a quantidades e pesos ( <i>Mix weights</i> ) dos compostos produzidos durante o mês de janeiro. ....	35
<b>Figura 3.10</b> - Menu do <i>software Mixer Control Center</i> de exportação de dados relativos a passos de produção de compostos ( <i>Mix steps</i> ) e respetivos tempos, para o mês de janeiro. ....	36
<b>Figura 3.11</b> - Exemplo da Evolução do Consumo Energético no processo de fabrico de um composto (FMF verao26, Misturadora 3). ....	41
<b>Figura 3.12</b> - Gráfico da Curva Característica do Consumo Energético por <i>batch</i> do composto F1 componente7 (geral). ....	43
<b>Figura 3.13</b> - Gráfico da Curva Característica do Consumo Energético por <i>batch</i> do composto F1 componente7, na Misturadora 0. ....	43
<b>Figura 3.14</b> - Gráfico da Curva Característica do Consumo Energético por <i>batch</i> do composto FMF verao15, na Misturadora 1. ....	44
<b>Figura 3.15</b> - Gráfico da Curva Característica do Consumo Energético por <i>batch</i> do composto FMF verao1, na Misturadora 0. ....	45
<b>Figura 4.1</b> - Gráfico do Consumo Energético Médio de cada Misturadora para produzir um <i>batch</i> de um composto aleatório. ....	50
<b>Figura 4.2</b> - Gráfico do Consumo Energético Médio de cada Misturadora para produzir uma tonelada de um composto aleatório. ....	50
<b>Figura 4.3</b> - Gráfico do Custo Energético Médio (€/batch) de cada período tarifário para produzir uma <i>batch</i> de um composto aleatório em cada misturadora. ....	52
<b>Figura 4.4</b> - Gráfico do Custo Energético Médio (€/ton) de cada período tarifário para produzir uma tonelada de um composto aleatório em cada misturadora. ....	53
<b>Figura 4.5</b> - Gráfico do Consumo Energético Médio, por <i>batch</i> e por tonelada, dos compostos FMF base2, M1 base2 e R1 base2. ....	54



<b>Figura 4.6</b> - Gráfico do Consumo Energético Médio, por <i>batch</i> e por tonelada, dos compostos FMF componente 10, M1 componente10, M2 componente10 e R1 componente 10. ....	54
<b>Figura 4.7</b> - Gráfico do Consumo Energético Médio, por <i>batch</i> e por tonelada, dos compostos FMF verao26, M1 verao26 e R1 verao26. ....	55
<b>Figura 4.8</b> - Gráfico do Consumo Energético Médio, por <i>batch</i> e por tonelada, do composto workoff1.....	55
<b>Figura 4.9</b> - Gráfico de comparação do Consumo Energético Médio, por <i>batch</i> e por tonelada, da junção dos compostos M1 componente13 e FMF componente13, à esquerda, com o composto FMO componente13.1, à direita. ....	56
<b>Figura 4.10</b> - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por <i>batch</i> e por tonelada, do composto FMF base2. ....	58
<b>Figura 4.11</b> - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por <i>batch</i> e por tonelada, do composto M1 base2. ....	58
<b>Figura 4.12</b> - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por <i>batch</i> e por tonelada, do composto R1 base2. ....	58
<b>Figura 4.13</b> - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por <i>batch</i> e por tonelada, do composto FMF componente10.....	59
<b>Figura 4.14</b> - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por <i>batch</i> e por tonelada, do composto R1 componente10. ....	59
<b>Figura 4.15</b> - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por <i>batch</i> e por tonelada, do composto FMF verao26. ....	60
<b>Figura 4.16</b> - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por <i>batch</i> e por tonelada, do composto M1 verao26.....	60
<b>Figura 4.17</b> - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por <i>batch</i> e por tonelada, do composto R1 verao26. ....	61
<b>Figura 4.18</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético Médio do composto M1 base2, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto. ....	67
<b>Figura 4.19</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto M1 base2 na Misturadora 5, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 5.....	67
<b>Figura 4.20</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto M1 base2 na Misturadora 7, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 7.....	68
<b>Figura 4.21</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético Médio do composto R1 componente10, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto. ....	68
<b>Figura 4.22</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto R1 componente10 na Misturadora 4, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 4.....	69

<b>Figura 4.23</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto R1 componente10 na Misturadora 5, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 5. ....	69
<b>Figura 4.24</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto R1 componente10 na Misturadora 6, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 6. ....	70
<b>Figura 4.25</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto R1 componente10 na Misturadora 7, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 7. ....	70
<b>Figura 4.26</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético Médio do composto FMF verao26, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto. ....	71
<b>Figura 4.27</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto FMF verao26 na Misturadora 0, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 0. ....	71
<b>Figura 4.28</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto FMF verao26 na Misturadora 1, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 1. ....	72
<b>Figura 4.29</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto FMF verao26 na Misturadora 3, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 3. ....	72
<b>Figura 4.30</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto FMF verao26 na Misturadora 4, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 4. ....	73
<b>Figura 4.31</b> - Gráfico do Indicador de Consumo Energético Médio do composto <i>workoff1</i> , e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto. ....	73
<b>Figura 4.32</b> - Gráfico de dispersão que relaciona a energia consumida por <i>batch</i> (kWh/ <i>batch</i> ) com o binário do motor (Nm), na produção de cada um dos compostos na Misturadora 9. ....	76
<b>Figura 4.33</b> - Gráfico de dispersão que relaciona a energia consumida por <i>batch</i> (kWh/ <i>batch</i> ) com a temperatura do <i>batch</i> (°C), na produção de cada um dos compostos na Misturadora 9.....	76
<b>Figura 5.1</b> - Fluxograma simplificado dos passos descritos, que serve de base para uma possível aplicação de gestão energética das ordens de produção de compostos. ....	97

# Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Características Técnicas dos Motores Principais das Misturadoras. ....	14
Tabela 2.2 - Número de Compostos produzidos na Continental Mabor. ....	18
Tabela 2.3 - Quantidade e principais tipos de Compostos produzidos nas misturadoras. ....	19
Tabela 2.4 - Distribuição da alimentação dos motores principais das misturadoras, pelos PTs 4 e 6, e características técnicas dos transformadores de ligação. ....	20
Tabela 2.5 - Estrutura do tarifário elétrico em vigor na Continental Mabor (Ciclo Semanal Opcional) [10]. ....	21
Tabela 3.1 - Estrutura dos dados extraídos do sistema <i>Messdas</i> relativos aos consumos energéticos acumulados dos motores principais das misturadoras. ....	31
Tabela 3.2 - Estrutura dos dados exportados relativos a quantidades e pesos dos compostos produzidos. ....	36
Tabela 3.3 - Estrutura dos dados exportados relativos a passos e tempos de produção de compostos e respetivos tempos. ....	37
Tabela 3.4 - Determinação da misturadora mais utilizada para produzir cada composto. ....	38
Tabela 3.5 - Estrutura organizada dos dados relativos aos consumos energéticos dos motores principais das misturadoras (Misturadora 0). ....	38
Tabela 3.6 - Estrutura organizada dos dados das ordens de produção (Misturadora 5, composto M1 base1). ....	39
Tabela 3.7 - Estrutura resultante do paralelismo entre os dados dos consumos energéticos e das ordens de produção dos compostos (Misturadora 0, composto FMF verao2). ....	40
Tabela 3.8 - Estrutura resultante da execução da rotina que determina o consumo energético por <i>batch</i> de cada corrida de cada composto (Misturadora 0, composto F1 componente7). ....	42
Tabela 4.1 - Identificação da misturadora mais utilizada no processo de fabrico de cada composto <i>versus</i> misturadora mais eficiente para o mesmo processo. ....	48
Tabela 4.2 - Consumos Energéticos Médios de cada Misturadora, por <i>batch</i> e por tonelada. .	49
Tabela 4.3 - Custo Energético Médio (€/batch) de cada período tarifário para produzir um <i>batch</i> de um composto aleatório em cada misturadora. ....	52

Tabela 4.4 - Custo Energético Médio (€/ton) de cada período tarifário para produzir uma tonelada de um composto aleatório em cada misturadora. ....	52
Tabela 4.5 - Classificação do Consumo Energético Específico Médio do processo de produção dos compostos. ....	57
Tabela 4.6 - Custo Energético Médio associado à produção de um <i>batch</i> (€/batch) e de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários. ....	63
Tabela 4.7 - Custo Energético por Misturadora associado à produção de um <i>batch</i> (€/batch) e de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários. ....	65
Tabela 5.1 - Ordem de produção de compostos do Caso Base do Cenário 1 (Misturadora 7, dia 24-01-2014), com determinação do custo energético total do mesmo. ....	80
Tabela 5.2 - Ordem de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 1 (Misturadora 7, dia 24-01-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	80
Tabela 5.3 - Ordem de produção de compostos do Caso 2 do Cenário 1 (Misturadora 7, dia 24-01-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	81
Tabela 5.4 - Ordem de produção de compostos do Caso 3 do Cenário 1 (Misturadora 7, dia 24-01-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	81
Tabela 5.5 - Ordem de produção de compostos do Caso Base do Cenário 2 (Misturadora 0, dia 12-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo. ....	82
Tabela 5.6 - Ordem de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 2 (Misturadora 0, dia 12-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	83
Tabela 5.7 - Ordem de produção de compostos do Caso 2 do Cenário 2 (Misturadora 0, dia 12-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	83
Tabela 5.8 - Ordem de produção de compostos do Caso 3 do Cenário 2 (Misturadora 0, dia 12-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	84
Tabela 5.9 - Ordem de produção de compostos do Caso Base do Cenário 3 (Misturadora 4, dia 06-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo. ....	84
Tabela 5.10 - Ordem de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 3 (Misturadora 4, dia 06-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	85
Tabela 5.11 - Ordem de produção de compostos do Caso 2 do Cenário 3 (Misturadora 4, dia 06-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	86
Tabela 5.12 - Ordem de produção de compostos do Caso 3 do Cenário 3 (Misturadora 4, dia 06-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	86

Tabela 5.13 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso Base do Cenário 4 (composto FMF verao26, todas as misturadoras, três meses), com determinação do custo energético total do mesmo. ....	87
Tabela 5.14 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 4 (composto FMF verao26, todas as misturadoras, três meses), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	87
Tabela 5.15 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso Base do Cenário 5 (todas as misturadoras, dia 18-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo. ....	88
Tabela 5.16 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 5 (todas as misturadoras, dia 18-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	88
Tabela 5.17 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 2 do Cenário 5 (todas as misturadoras, dia 18-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	89
Tabela 5.18 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 3 do Cenário 5 (todas as misturadoras, dia 18-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	89
Tabela 5.19 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso Base do Cenário 6 (todas as misturadoras, semana de 10-03-2014 a 16-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo. ....	90
Tabela 5.20 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 6 (todas as misturadoras, semana de 10-03-2014 a 16-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	91
Tabela 5.21 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 2 do Cenário 6 (todas as misturadoras, semana de 10-03-2014 a 16-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	91
Tabela 5.22 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 3 do Cenário 6 (todas as misturadoras, semana de 10-03-2014 a 16-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	92
Tabela 5.23 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso Base do Cenário 7 (Misturadora 7, mês de janeiro), com determinação do custo energético total do mesmo.....	92
Tabela 5.24 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 7 (Misturadora 7, mês de janeiro), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	93
Tabela 5.25 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 2 do Cenário 7 (Misturadora 7, mês de janeiro), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	93
Tabela 5.26 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 3 do Cenário 7 (Misturadora 7, mês de janeiro), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	94
Tabela 5.27 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso Base do Cenário 8 (todas as misturadoras, mês de fevereiro), com determinação do custo energético total do mesmo. ....	94

Tabela 5.28 - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 8 (todas as misturadoras, mês de fevereiro), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança. ....	95
--	----

# Abreviaturas e Símbolos

## Lista de abreviaturas

ADENE	Agência para a Energia
CIE	Consumidores Intensivos de Energia
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FMF	<i>Final Mix</i>
FMO	<i>Final Mix</i> (misturadora <i>Tandem</i> )
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> (Indicador de desempenho)
M1	<i>Master Batch 1</i>
M2	<i>Master Batch 2</i>
PT	Posto de Transformação
R1	<i>Remill</i>
REP	Relatório de Execução e Progresso
SGCIE	Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>

## Lista de símbolos

E	Energia
€	Euro
f	Frequência
Hz	Hertz
J	Joule
kg	Quilograma
kWh	Quilo <i>Watt</i> Hora
tep	Tonelada Equivalente de Petróleo
ton	Tonelada





# Capítulo 1

## Introdução

Neste capítulo introdutório será feita uma apresentação à presente dissertação, ao nível do seu enquadramento, objetivos, metodologia e organização. Na primeira secção será explicado o contexto em que se insere o tema desta dissertação, através da exposição do problema apresentado pela empresa que motivou o desenvolvimento da mesma, assim como o contexto que levou à realização do estágio na qual foi desenvolvida. Seguidamente serão explorados os objetivos a que o autor se propôs a concretizar através do trabalho demonstrado nos capítulos posteriores. Será reservada uma secção para explorar a metodologia adotada para atingir os objetivos delimitados, mas de forma sucinta, uma vez que esta é aprofundada ao longo dos capítulos seguintes. Finalmente, na última secção será explicada a organização da estrutura definida para o presente documento, assim como as justificações para algumas opções tomadas em relação à mesma.

### 1.1 - Enquadramento e Motivação

Atualmente um dos principais desafios que enfrentam as empresas do setor da indústria é a gestão dos seus recursos de energia. Este desafio é colmatado com a promoção da eficiência energética das mesmas, considerada em paralelo com o progresso social, o equilíbrio ambiental, e principalmente com o sucesso económico. A forma como é utilizada a energia disponível é uma questão importantíssima neste processo e por isso o aumento da eficiência energética das atividades das empresas é indispensável para a concretização dos objetivos a que se propõem, tanto pela redução dos consumos energéticos globais, como pelo aumento dos conseguintes resultados económicos [1].

O conceito de eficiência energética está diretamente relacionado com a utilização racional de energia, que, por sua vez, garante substanciais reduções dos consumos sem reduzir níveis de produção, ou qualidade de produtos e serviços, através da adoção de medidas que visem a alteração de hábitos e comportamentos. No entanto, em algumas

## 2 Introdução

situações, a questão dos comportamentos não é suficiente, o que obriga as empresas a investir na otimização os seus sistemas, recorrendo a processos e tecnologias mais eficientes, que permitem evitar o desperdício de energia. É importante referir que através de uma adequada seleção, aquisição e/ ou utilização dos equipamentos, é possível poupar nos custos de laboração, sem ter de poupar na quantidade e qualidade dos produtos finais de cada indústria [2].

Cada vez existe mais legislação que obriga as empresas a tomar atitudes em relação ao impacto das suas atividades na sustentabilidade global, o que leva várias organizações a perceber as vantagens de praticar medidas de gestão responsáveis para garantir um desenvolvimento sustentável para elas e para as economias nacionais em que operam. É a partir deste ponto de vista de sustentabilidade que se demonstra que a gestão dos consumos de energia pode proporcionar níveis de eficiência energética superiores, garantindo uma redução dos custos associados à utilização de energia nos processos de produção das empresas [4].

O SGCIE, regulamentado pelo Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de abril [6], aplica-se às instalações consumidoras intensivas de energia com consumos superiores a 500 tep<sup>1</sup> por ano. Este sistema prevê que as instalações CIE realizem, periodicamente, auditorias energéticas que incidam sobre as condições de utilização de energia e promovam o aumento da eficiência energética, incluindo a utilização de fontes de energia renováveis. Prevê, ainda, que se elaborem e executem Planos de Racionalização dos Consumos de Energia, estabelecendo acordos de racionalização desses consumos com a DGEG que, contemplem objetivos mínimos de eficiência energética, associando ao seu cumprimento a obtenção de incentivos pelos operadores (entidades que exploram instalações CIE) [3].

A empresa onde foi realizado o estágio que levou ao desenvolvimento da presente dissertação, a Continental Mabor, é considerada uma instalação CIE [7], logo é abrangida pelo SGCIE. Sendo assim, a Continental Mabor tem necessidade de desenvolver a sua atividade, promovendo sempre a eficiência energética das suas operações, reduzindo anualmente os seus consumos.

Uma vez que na empresa são desenvolvidos constantemente projetos que visam a poupança dos consumos dos diferentes tipos de energia que alimentam as áreas de processo da fábrica, surgiu o interesse no desenvolvimento do estudo apresentado nesta dissertação.

Muitas vezes, o controlo do consumo energético através da fatura mensal não é suficiente para perceber os padrões de consumo de energia elétrica nos diversos equipamentos instalados, a importância de cada área ou equipamento no consumo global da fábrica, assim como o seu impacto sobre o valor da fatura. Nesses casos torna-se necessário um

---

<sup>1</sup> Tonelada Equivalente de Petróleo (tep) é a unidade de energia utilizada para efeitos de contabilidade energética de diferentes tipos de consumos e/ou produções, que representa o conteúdo energético de uma tonelada de petróleo indiferenciado.  $1 \text{ tep} = 41.868 \times 10^9 \text{ J} = 11,628 \times 10^3 \text{ kWh}$  [5]

acompanhamento mais frequente, diário ou semanal, através da recolha e análise das leituras efetuadas pelos equipamentos de medição do consumo desagregado. Desta forma é possível identificar os pontos com maior potencial de melhoria e assim distinguir ações a serem empregues para a racionalização do consumo, e redução de custos [4].

O problema apresentado pela empresa, a ser resolvido nesta dissertação de aplicação prática, estava relacionado com os consumos energéticos da produção de compostos na área da Misturação. A Misturação é a área da fábrica com a maior fatia do consumo de energia elétrica global, e não havia qualquer garantia de que os compostos de maior necessidade energética fossem produzidos pelos equipamentos mais eficientes, e nos períodos horários correspondentes a tarifas de energia mais baratas. Assim, foi proposto a realização do estudo de caracterização dos consumos específicos de energia elétrica dos processos de misturação dos compostos produzidos na Continental Mabor. Este estudo junta à caracterização, uma potencial gestão energética que promove a redução dos custos de produção, sem comprometer a quantidade e qualidade dos produtos finais.

As atividades de gestão de energia na indústria são na maioria dos casos iniciativas de elevada rentabilidade e de retorno efetivo num curto período de tempo. A própria alteração de processos ou tecnologias, que requerem investimentos, apresentam taxas de rentabilidade interessantes para a maioria dos empresários [4]. Contudo, o estudo realizado nesta dissertação visa a alteração de processos de produção da empresa, mas sem requerer qualquer investimento.

## 1.2 - Objetivos

Com base no título da presente dissertação, identifica-se claramente que os principais objetivos do trabalho desenvolvido na mesma baseiam-se na caracterização e na gestão dos consumos de energia elétrica dos processos da maior indústria de fabrico de pneus de Portugal, a Continental Mabor. No entanto, como já foi referido, o estudo debruça-se apenas sobre os consumos de energia de uma das áreas da fábrica, e os objetivos efetivamente definidos para este são ligeiramente mais complexos.

Assim, é possível distinguir os objetivos, mais explícitos, a que o autor deste documento se comprometeu a atingir com o trabalho desenvolvido no estudo desta dissertação:

- Familiarização com os processos de fabrico da Continental Mabor. Identificação dos principais sistemas de consumo energético, e de potenciais medidas de eficiência energética.
- Recolha e processamento de séries temporais de ordens de produção de compostos do setor da Misturação da fábrica, e de consumos energéticos desagregados das misturadoras.

- Caracterização de consumos específicos e curvas características de consumo energético, relativos ao processo de produção dos compostos, para servir de referência a um sistema de avaliação de desempenho.
- Definição de indicadores de desempenho com base nos consumos específicos de energia elétrica da produção de cada composto e desenvolvimento de uma metodologia para um sistema de avaliação de desempenho.
- Análise e gestão de cenários de ordens de produção com o intuito de demonstrar o potencial de redução do consumo de energia elétrica, e consequentemente, dos custos de produção, sem diminuir o volume de produção e sem quaisquer investimentos adicionais.

### 1.3 - Metodologia

Para a realização dos objetivos anteriormente enunciados foi necessário definir uma metodologia para orientar o trabalho desenvolvido no estudo da presente dissertação, fazendo referência às ferramentas necessárias. Esta metodologia pode ser descrita pelas seguintes etapas:

- Identificação dos compostos a analisar no estudo;
- Escolha do componente das misturadoras que mais influencia o consumo de energia elétrica das mesmas;
- Identificação dos equipamentos que controlam o consumo energético dos motores principais de cada misturadora (centrais de medida de energia elétrica);
- Recolha de dados de consumos de energia elétrica dos motores principais das nove misturadoras, para os três primeiros meses de 2014, através do *software* de gestão de energia utilizado na empresa, o *Messdas*;
- Processamento dos dados de consumo de energia através de rotinas em *VBA*, desenvolvidas no *software Microsoft Excel*.
- Recolha de dados relativos às ordens de produção de compostos realizadas no primeiro trimestre de 2014, através do *software* de controlo da área da Misturação, o *Mixer Control Center*;
- Processamento dos dados de ordens de produção de compostos, também através de rotinas em *VBA*, com atribuição de um identificador a cada corrida de produção e com os devidos ajustes aos instantes de início de produção dos compostos, de maneira a calibrar os mesmos em relação aos instantes de contagem de energia dos dados de consumos;
- Paralelismo entre os dados de consumos de energia elétrica dos motores principais das misturadoras com os dados das ordens de produção dos compostos nas mesmas, ambos já organizados, recorrendo novamente ao *VBA*, para cada mês analisado;

- Junção dos dados das ordens de produção com os respectivos consumos de energia dos três meses;
- Determinação do consumo de energia específico de cada corrida de produção dos compostos nas diferentes misturadoras através de uma regressão linear entre os valores de energia consumida nos vários instantes de cada corrida;
- Construção de gráficos contendo as curvas de consumo específico das diferentes corridas de cada composto, por misturadora, e no geral, para o mesmo número de *batches* (cargas) produzidos;
- Identificação, e posterior eliminação, de corridas correspondentes a dados inconsistentes, por inspeção visual dos gráficos das respetivas curvas características de consumo específico;
- Determinação do valor do consumo de energia específico de cada composto, por misturadora e no geral, através da média entre os declives das curvas (retas) características de consumo de cada uma das corridas de produção do mesmo composto;
- Determinação do custo de produção de cada composto através dos valores do respetivo consumo específico e das tarifas de energia elétrica aplicadas à empresa nos três meses analisados, por misturadora e no geral.
- Definição dos valores referência dos indicadores de desempenho do processo de produção dos compostos, recorrendo aos valores do consumo específico de cada um destes, por misturadora e no geral;
- Construção de gráficos de comparação dos valores dos indicadores de desempenho com os respetivos valores referência, para cada composto;
- Identificação de variáveis de causalidade que possam justificar as variações dos valores dos indicadores de consumo energético do processo de produção de cada composto;
- Definição de uma metodologia para um sistema de avaliação dos indicadores de desempenho da produção de compostos;
- Criação de alguns cenários de produção de compostos com base nos dados de ordens de produção já organizados, correspondendo aos casos base;
- Determinação do custo total do caso base de cada um dos cenários;
- Análise de diferentes casos de gestão energética de cada cenário, com determinação da poupança verificada em relação ao caso base e a possível poupança anual.

## 1.4 - Organização da Dissertação

Após este capítulo introdutório, onde é feita uma apresentação do enquadramento e motivação da dissertação, assim como dos seus objetivos e metodologia adotada para atingir os mesmos, seguem-se mais cinco capítulos.

Em relação ao segundo capítulo, é importante referir que devido ao estudo da presente dissertação ser realizado pela primeira vez e de aplicação exclusivamente prática à Continental Mabor, o estado de arte é composto pela introdução à empresa onde o estágio curricular e respetiva dissertação foram desenvolvidos, apresentando as diferentes áreas da linha de produção da empresa, dando especial atenção à área da Misturação, e ainda o sistema de energia elétrica que alimenta os diferentes setores. Para concluir este capítulo é explorada a utilização de indicadores de desempenho na Indústria em geral, servindo de introdução ao sistema de avaliação de desempenho já existente na empresa.

No Capítulo 3 será apresentada a metodologia adotada para o processamento e análise de dados de consumos energéticos e ordens de produção, importantes para o estudo da caracterização energética dos processos de produção de compostos na área da Misturação.

Seguidamente, no Capítulo 4 serão apresentados os resultados obtidos para a caracterização de consumos energéticos específicos e curvas características de consumo energético, relativos ao processo de produção de uma porção dos compostos analisados no estudo completo, sendo cada um destes de diferente tipo e fase. São também explorados os resultados para os custos de produção associados aos respetivos consumos de energia. Para concluir serão apresentados os indicadores de desempenho definidos com base nos consumos específicos de energia dos mesmos compostos, assim como a metodologia para avaliar os mesmos.

No Capítulo 5 serão analisados alguns cenários de ordens de produção de compostos para diferentes intervalos de tempo, onde será determinado o custo total dos mesmos sem qualquer alteração, e posteriormente será verificada a poupança de custos consequente de algumas alterações às ordens de produção de cada cenário, correspondentes a ações de gestão energética dos mesmos. Este capítulo será concluído com a demonstração de quais os passos a seguir para promover a eficiência energética no processo de produção de compostos.

Finalmente, para concluir a dissertação, no último capítulo serão expostas as conclusões aferidas ao longo do desenvolvimento do trabalho, complementadas com a exposição de possíveis desenvolvimentos deste, através de novas perspetivas de trabalho futuro.

## Capítulo 2

# A Empresa: Continental Mabor, Indústria de Pneus S.A.

Este capítulo destina-se à apresentação da empresa onde o estágio curricular e a presente dissertação foram realizados. Será feita uma breve introdução à própria empresa, mas também às principais áreas da unidade fabril. Mais importante, será aprofundado a área da Misturação, sobre a qual o estudo desta dissertação incide, assim como os principais elementos que influenciam a mesma: os equipamentos (as Misturadoras) e o produto final produzido nas mesmas (os Compostos).

Seguidamente, será analisada a rede elétrica que alimenta os diferentes setores, assim como o tarifário elétrico em vigor na empresa.

Finalmente, para concluir este capítulo, será feita uma abordagem aos indicadores de desempenho relativos aos consumos dos diferentes tipos de energia que alimentam a fábrica, e do seu sistema de avaliação. Esta secção será complementada com uma exposição teórica sobre Indicadores de Desempenho, e a sua influência nos processos de fabrico da Indústria em geral.

### 2.1 - A Continental Mabor

A Continental Mabor nasceu em dezembro de 1989, como empresa ligada à indústria de pneus. O seu nome provém da união de duas empresas de renome na manufatura da borracha, a Mabor, a nível nacional, e a Continental AG., de dimensão mundial.

A Mabor - Manufatura Nacional de Borracha, S.A., foi a primeira fábrica de pneumáticos de Portugal. Iniciou a sua laboração em 1946, com assistência técnica prestada pela General Tire, Cº, de Ohio (E.U.A.). Em julho de 1990, iniciou-se o grande programa de reestruturação que transformou as antigas instalações da Mabor na mais moderna das, então, 21 unidades do Grupo Continental. Partindo de uma produção média diária de 5000 pneus/dia em 1990, foram atingidos os 21 000 pneus/dia em 1996, ou seja, a produção quadruplicou.

Atualmente a Continental Mabor tem uma capacidade de produção média de 53 000 pneus/dia, apresentando-se assim, como uma das duas fábricas da Continental com melhores índices de produtividade. Produzindo, inicialmente, apenas pneus da marca Mabor, a gama da Empresa é, atualmente, muito variada quer em medidas, quer em tipos, quer em marcas.

Mais de 98% da produção destina-se à exportação. O designado “mercado de substituição” absorve mais de metade da produção anual da Continental Mabor. A parte restante é distribuída pelas linhas de montagem, dos mais prestigiados construtores da indústria automóvel.

A Continental Mabor tem uma superfície total que ronda os 250 000 m<sup>2</sup> e uma superfície coberta total que ronda os 146 000 m<sup>2</sup>, contando com cerca de 1750 Colaboradores.

## 2.2 - Áreas de Processo de Fabrico da Continental Mabor

A Continental Mabor é uma unidade fabril equipada para produzir exclusivamente pneus para veículos ligeiros. As matérias-primas utilizadas são fundamentalmente borracha (natural e sintética), tecidos têxteis e metálicos. A área de fabrico encontra-se dividida em 5 setores: Misturação, Preparação, Construção, Vulcanização e Inspeção Final. Estes setores, apresentados sequencialmente, representam a linha de produção de um pneu desde a fase de matéria-prima até à fase final.

O processo de produção dos pneus, passando por todos os setores, pode ser esquematizado pela seguinte figura.

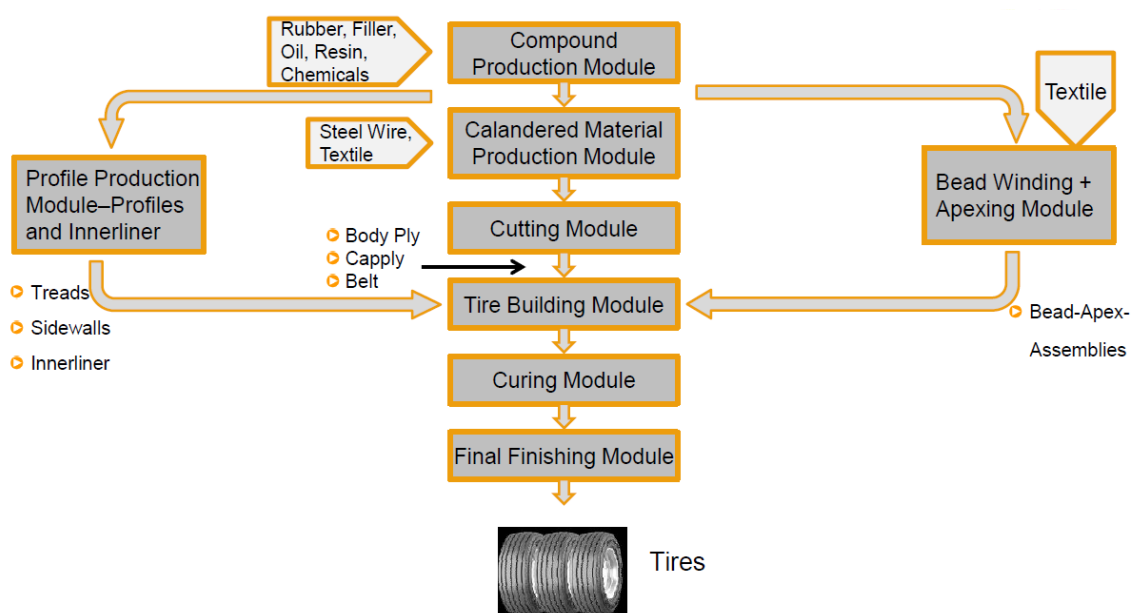


Figura 2.1 - Esquema Modular da Linha de Produção da Continental Mabor [8].



Relativamente ao esquema da Figura 2.1:

- O módulo da produção de compostos (*Compound Production Module*) corresponde ao setor de Misturação;
- Os módulos da produção de material calandrado (*Calandered Material Production Module*) e de corte (*Cutting Module*) representam o setor de Preparação;
- O setor de Construção (*Tire Building Module*) corresponde aos módulos de produção de perfis e tela interior (*Profile Production Module - Profiles and Innerliner*) e de enrolamento de talões e cunhas (*Bead Windind + Apexing Module*);
- Os últimos dois setores, Vulcanização (*Curing Module*) e Inspeção Final (*Final Finishing Module*) são representados pelos respetivos módulos, facilmente identificáveis pelos nomes correspondentes.

No diagrama da unidade fabril, apresentado em seguida, é possível identificar os 5 setores, devidamente delimitados. Posteriormente, é feita uma explicação complementar relativamente a cada um destes setores e às suas principais funcionalidades.

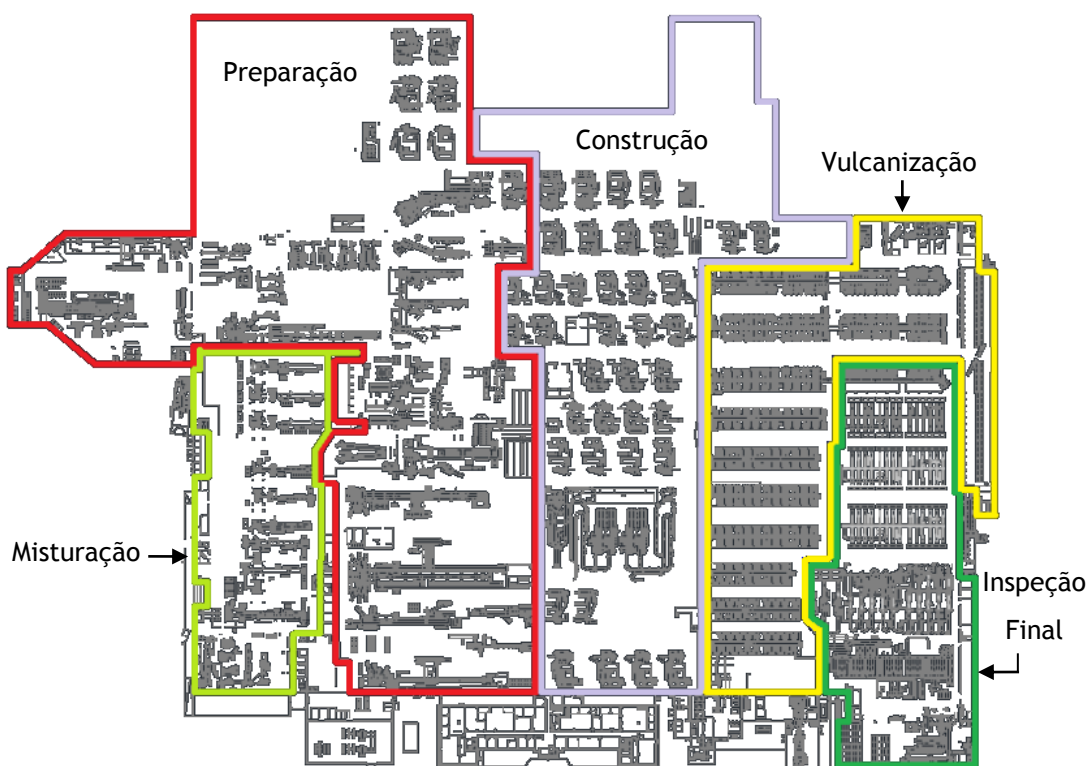


Figura 2.2 - Delimitação dos Setores do Processo de Fabrico na planta da Continental Mabor.

### 2.2.1 - Misturação

A primeira fase do processo desta área consiste na pesagem das várias matérias-primas de forma a obter borracha com composição desejada, isto é, a receita correspondente ao composto pretendido.

De seguida, na primeira misturadora, específica para a fase *Master Batch*, são misturados os primeiros componentes (borracha natural e/ou sintética, negro de fumo, óleo, pigmentos, etc.) resultando a base. Numa segunda misturadora, já na fase de *Final Mix*, são juntados à base outros aditivos identificados (agentes de vulcanização).

Depois de misturado, este composto cai em moinhos onde são comprimidos por dois rolos cilíndricos que rodam em sentidos contrários. Daqui resulta uma pasta, onde por fim é sujeita a um banho de produto antiaderente, seguindo depois para armazenamento em paletes.

É importante referir que, como o estudo a ser desenvolvido nesta dissertação incide maioritariamente sobre a caracterização energética dos compostos produzidos, este setor será aprofundado posteriormente.

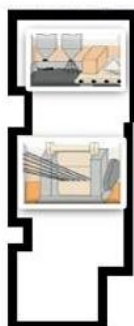


Figura 2.3 - Delimitação do Setor de Misturação.

### 2.2.2 - Preparação

Este setor engloba dois módulos, o da Extrusão e o da Calandragem, e dependendo do fim a que se destina, a borracha é encaminhada para um destes.

A Extrusão destina-se ao fabrico de pisos, paredes laterais e talões. Os pisos são cortados à medida e colocados em tabuleiros e as paredes laterais são enroladas em cassetes. Noutro setor a borracha é extrudida juntamente com arame, resultando o talão (*bead*) sendo depois adicionada a cunha (*apex* - zona do pneu em contacto com a jante).

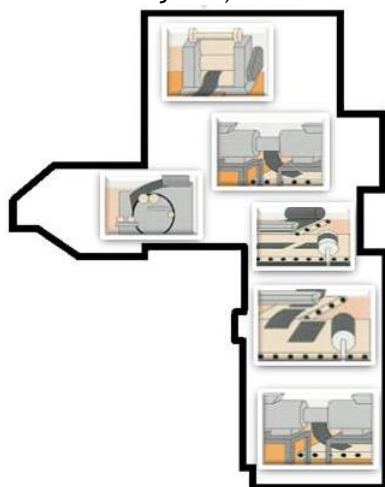


Figura 2.4 - Delimitação do Setor de Preparação.

Na Calandragem, são fabricadas as telas de tecido têxtil ou metálico, impregnadas com borracha.

Este material é enrolado, sendo posteriormente cortado nas medidas certas (conforme as necessidades da Construção) e armazenado em bobines ou cassetes.

### 2.2.3 - Construção

No setor da Construção é feita a montagem do pneu a partir de todos os componentes construídos na Preparação. O produto final é designado Pneu em Verde.

Este trabalho é conseguido através das máquinas de Construção KM e PU:

- Na máquina KM é construída a carcaça, constituída pelos talões, tecido têxtil calandrado e paredes laterais;
- Na máquina PU, esta recebe a carcaça da KM onde são colocados os breakers (tecido metálico calandrado) e o piso (da Extrusão) e outros.

Na fase final, cada pneu em verde passa por uma máquina de pintura, onde leva um componente antiaderência, de forma a evitar aderência com o diafragma e molde da prensa da Vulcanização.

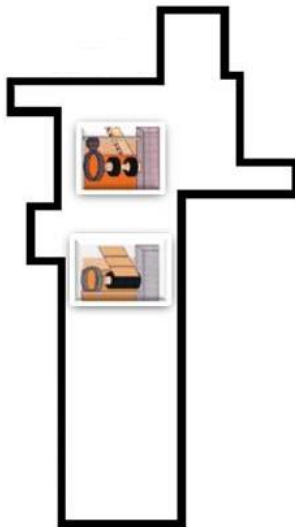


Figura 2.5 - Delimitação do Setor de Construção.

### 2.2.4 - Vulcanização

Nesta área todos os pneus em verde seguem para as prensas, onde cada um assume a forma final para o qual foi preparado.

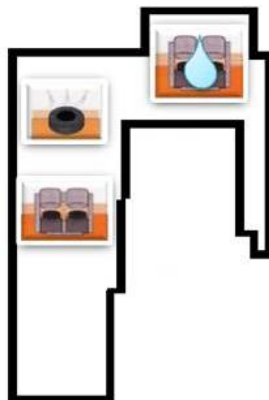


Figura 2.6 - Delimitação do Setor de Vulcanização.

Esta operação consiste na prensagem prolongada do pneu contra um molde a alta temperatura, através de um diafragma contendo vapor no seu interior.

### 2.2.5 - Inspeção Final

Após o setor de Vulcanização, todos os pneus são encaminhados para a área de Inspeção Final, onde serão alvo, a 100% da produção, das seguintes inspeções/testes:

- Inspeção visual;
- Uniformidade (radial/axial);
- Balanceamento;

Depois destes testes, os pneus podem seguir para o Armazém de Produto Acabado.

A Continental também tem no seu portfólio de produção um tipo de pneu altamente resistente a furos designado *ContiSeal*. Para tal, parte dos pneus da sua produção diária, seguem para outro setor onde será aplicado um produto selante colocado no interior do pneu conferindo a estes pneus tal característica (anti-furo).



Figura 2.7 - Delimitação do Setor de Inspeção Final.

## 2.3 - Setor de Estudo: Misturação

A Misturação é a área da fábrica que consome a maior percentagem de energia elétrica, cerca de 60% do consumo geral, com um consumo médio de 5 MWh, tal como é possível constatar na figura seguinte. Esta é uma das razões pela qual o estudo da presente dissertação incide sobre este setor, pois uma pequena poupança energética pode levar a uma grande poupança financeira.

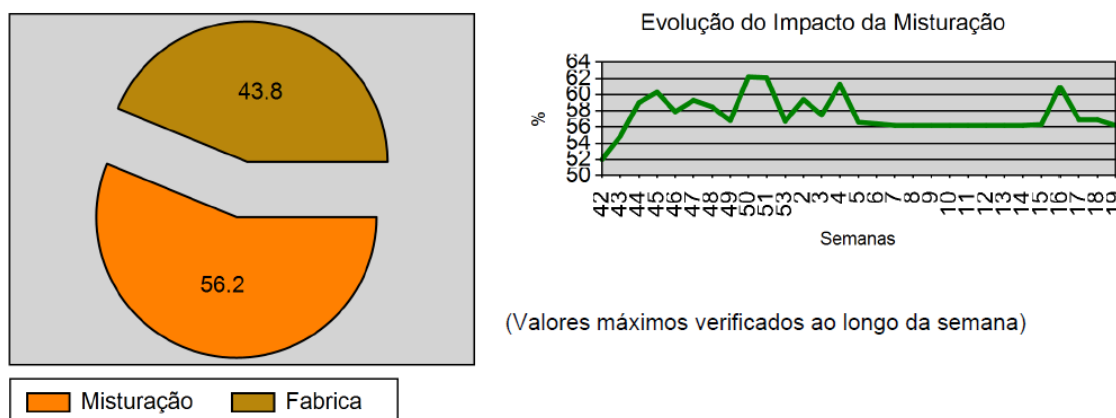


Figura 2.8 - Impacto (%) da Misturação no Consumo (kWh) Geral da Fábrica [9].

A área da Misturação é constituída por 3 pisos, onde se distribuem os demais elementos participantes, que vão para além das misturadoras. As zonas principais são:

- Armazenagem de matérias-primas, de aditivos e de compostos não concluídos;
- Pesagem de matérias-primas;
- Preparação de aditivos;
- Zonas de controlo.

### 2.3.1 - Equipamentos: Misturadoras

O setor da Misturação engloba nove misturadoras, todas elas diferentes, mas com propriedades idênticas. A principal distinção entre as máquinas é a fase e o tipo de composto a que se destinam, isto é, algumas misturadoras produzem a fase *Master Batch* dos compostos, outras apenas a fase *Final Mix*, outra que produz qualquer uma das fases separadamente (Misturadora 4), e uma outra que possibilita a produção de um composto desde a primeira fase até estar concluído (Misturadora 9).

As misturadoras existentes neste setor têm uma construção modular, pelo que os elementos constituintes das mesmas normalmente são: porta de carga, porta de descarga, corpo, motor principal, caixa de velocidades, martelo, extrusora, moínhos, calandra, sistema de arrefecimento (*Batch Off*) e auxiliares (p.e. coletor de pó). Contudo, nem todos estes componentes têm associados contadores de energia elétrica em todas as misturadoras. Sendo

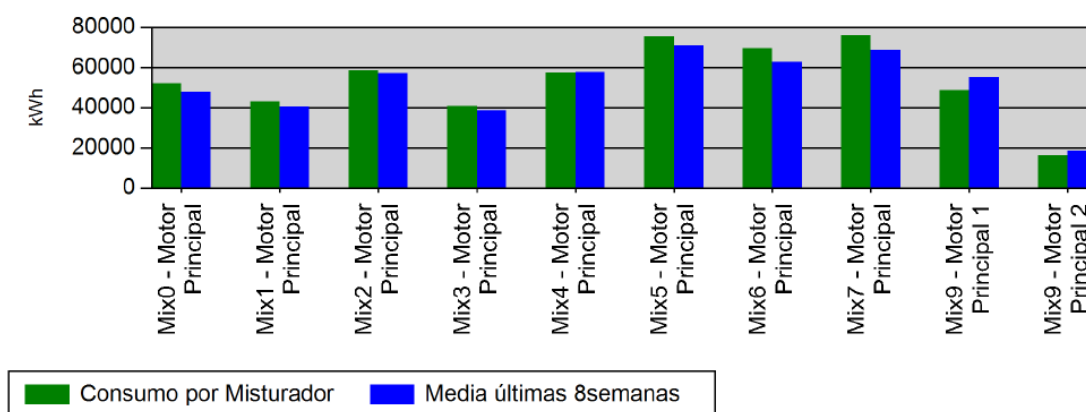
o motor principal o único que tem contagem elétrica (do lado da média tensão) em todas as misturadoras, e por ser o componente em que o consumo energético é diretamente afetado pelo composto a produzir optou-se por distinguir as misturadoras através deste.

Na tabela Tabela 2.1 distinguem-se as principais características dos motores principais que constituem as misturadoras.

**Tabela 2.1 - Características Técnicas dos Motores Principais das Misturadoras.**

Máquina	Tipo	U <sub>n</sub> (V)		f (Hz)	I <sub>n</sub> (A)	P <sub>n</sub> (kW)	cos φ	n (min <sup>-1</sup> )	IP	Ano
0	Final	690	Δ/Δ	50	2 x 580	1200	0,9	1489	55	2002
1	Final	690	Δ/Δ	50	2 x 730	1500	0,89	1490	55	2012
2	Master	2 x 1000	Y/Y	50	2 x 482	1500	0,925	1500	54	1991
3	Final	690	Δ	50	1679	1700	0,88	1492	54	1998
4	Final/Master	690	Δ	50	1876	1900	0,88	1491	54	1998
5	Master	690	Δ/Δ	50	4 x 475	1900	0,86	1494	55	2002
6	Master	690	Δ/Δ	50	4 x 475	1900	0,86	1494	55	2002
7	Master	690	Δ/Δ	60	4 x 475	1900	0,86	1494	55	2003
9 (Sup.)	Final/Master	690	Δ/Δ	50	4 x 475	1900	0,86	1494	55	2008
9 (Inf.)	Final/Master	690	Δ/Δ	50	2 x 480	1000	0,9	1491	55	2008

De referir que a Misturadora 9 distingue-se das outras, quanto à sua construção. Esta é uma misturadora *Tandem*, ou seja, é constituída por dois motores distintos (superior e inferior) que dividem a mistura do composto em dois processos paralelos e simultâneos. Cada uma das máquinas é otimizada para cada fase individual do processo de fabrico do composto, desde a fase inicial até à fase final. Permite a produção de compostos de baixa viscosidade apenas com uma só fase de mistura e, mais importante, por apresentar uma duração de ciclos de mistura inferior à das misturadoras convencionais, garante poupança de energia [8].



**Figura 2.9 - Gráfico do Consumo Energético (kWh) do Motor Principal de cada Misturadora[9].**

O gráfico presente na Figura 2.9 mostra o consumo energético (kWh) por motor principal de cada misturadora. Esta informação é útil no sentido de identificar qual o equipamento mais eficiente, tendo sempre por base a quantidade e tipo de composto a produzir.

### 2.3.2 - Produtos Resultantes: Compostos



**Figura 2.10** - Representação da constituição de um pneu *standard* em termos de componentes e compostos [8].

Os compostos produzidos na Misturação são constituídos por diferentes receitas de matérias-primas, dependendo do tipo e da fase do composto.

Desta forma, as matérias-primas utilizadas são:

- Polímeros
- Borracha Natural (Borracha de Isopreno);
- Borracha Sintética
  - Borracha de Butadieno;
  - Borracha de Estireno-Butadieno;
- Enchedores
  - Negro de Fumo;
  - Sílica;
- Aditivos
  - Amaciadores
    - Óleos;
    - Ácidos Gordos;
    - Misturas;
  - Agentes de Antienvelhecimento
    - Cera protetora de Ozono;
    - Antioxidantes;
- Agentes de Vulcanização
  - Enxofre;
  - Acelerador.

Obviamente, as matérias-primas utilizadas, e respectivas quantidades, dependem do composto a ser produzido.

A produção dos compostos passa por diferentes fases, antes de poderem passar para o setor da Preparação, quando já concluídos. As duas principais fases que descrevem a maioria dos compostos são o *Master Batch* e o *Final Mix*, no entanto podem ser distinguidas outras fases que são executadas separadamente, pela seguinte sequência, até o composto atingir as propriedades requeridas:

1. Misturação – Redução da viscosidade do polímero;
2. *Master Batch* (1 e 2) – Redução da viscosidade do polímero e dispersão do enchedor;
3. *Remill* (Remisturação) – Redução da viscosidade do composto;
4. *Final Mix* – Distribuição dos agentes de Vulcanização.

No entanto, nem todos os compostos passam por todas as fases, pois a sequência destas depende da receita do composto a produzir. Por exemplo, existem compostos que podem ser totalmente produzidos passando apenas pela fase *Final Mix*, assim como existem compostos que precisam apenas de uma fase de *Master Batch* e outros de duas fases destas.

De uma forma geral, a produção de um composto pode ser descrita pelos passos seguintes:

- Passo 1: Carregamento dos polímeros, enchedores e aditivos químicos → Misturação → Carregamento dos amaciadores → Misturação → Descarregamento a 150 °C
  - Resultado: *Master Batch*;

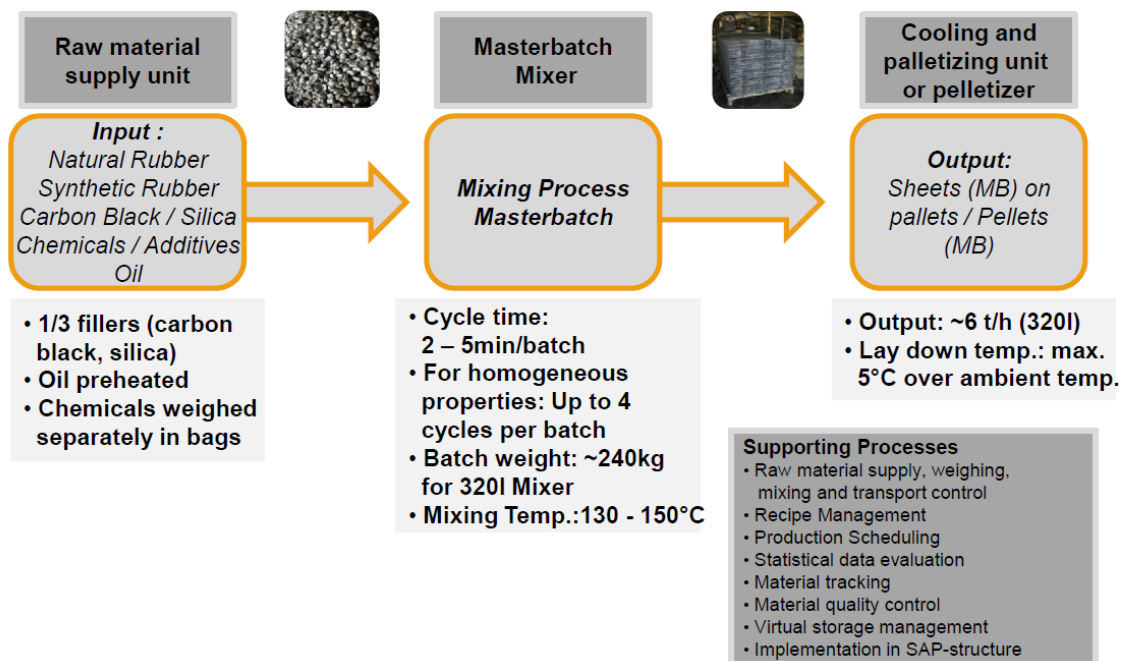


Figura 2.11 - Processo geral de fabricação da fase *Master Batch* de um composto [8].

- Passo 2: Carregamento do *Master Batch* e dos agentes de vulcanização → Misturação → Descarregamento a 110 °C



- Resultado: *Final Mix*.

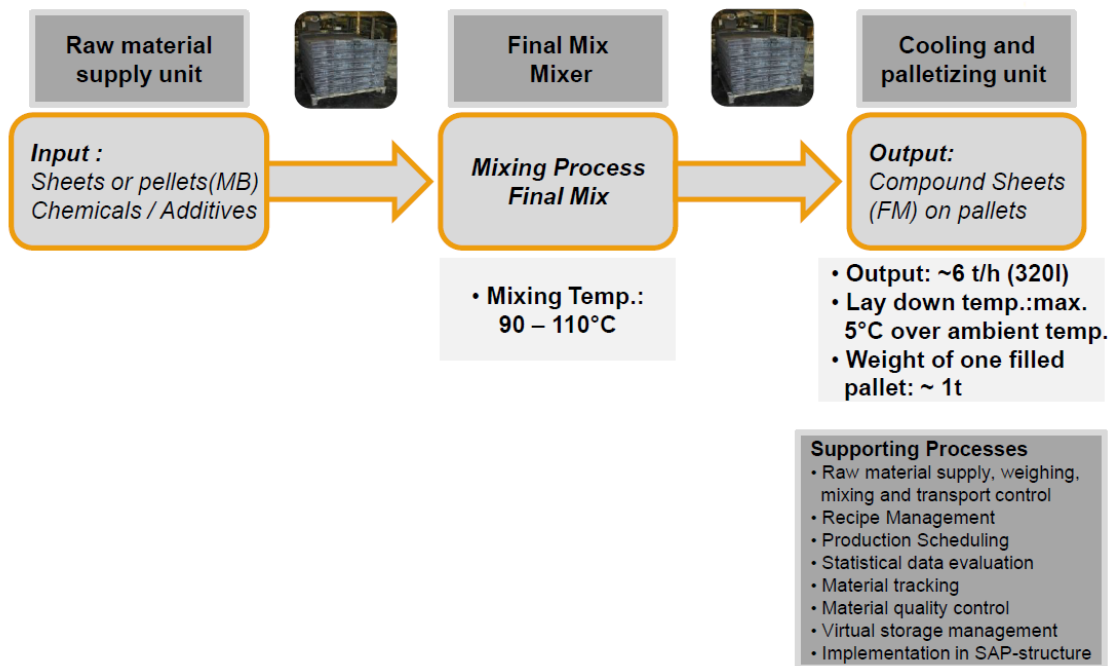


Figura 2.12 - Processo geral de fabrico da fase *Final Mix* de um composto [8].

A conclusão de cada fase da produção dos compostos depende de diferentes parâmetros, tais como:

- Taxa de enchimento;
- Velocidade do rotor da misturadora;
- Tempo de misturação;
- Temperatura do *batch*.

A fase *Master Batch*, é dada como concluída quando o *batch* atinge uma determinada temperatura de referência, enquanto que a fase *Final Mix* é considerada como concluída quando o tempo de misturação atinge um valor estabelecido para o composto a ser produzido, ou, tal como na fase anterior, quando o *batch* atinge uma temperatura de referência.

Apesar de um composto só estar concluído depois de passar pela fase de *Final Mix*, os compostos podem ser armazenados em paletes, em qualquer uma das fases, dependendo da necessidade dos mesmos nos setores seguintes da linha de produção. Na maioria das vezes, os compostos são produzidos para armazenamento, e não para utilização imediata nos setores seguintes, o que influencia as suas propriedades físicas.

Como já referido anteriormente, as misturadoras deste setor estão pré-definidas para produzir determinadas fases dos compostos, e por sua vez, cada composto tem uma lista estabelecida de quais as misturadoras em que pode ser produzido, para cada fase respetiva.

Quanto ao tipo, os compostos podem ser classificados em:

- Compostos Base;

- Compostos de Componentes do Pneu
  - *Apex* (cunha);
  - *Bead Wire* (talão);
  - *Cap Ply*;
  - *Carcass* (carcaça);
  - *Innerliner* (tela interior);
  - *Rim Strip*;
  - *Sidewall* (parede lateral);
  - *Wing Tip*;
- Compostos de Pisos
  - Verão;
  - Inverno;
- Compostos *Workoff*.

Os compostos *Workoff* correspondem a remisturações de compostos de pisos ou de *innerliner* já concluídos que não apresentaram as propriedades pretendidas, ou seja, após o novo processo de misturação, os compostos passam a ter esta denominação.

O número de compostos produzidos na Continental Mabor, os quais foram submetidos ao estudo da presente dissertação, é apresentado na tabela seguinte.

**Tabela 2.2** - Número de Compostos produzidos na Continental Mabor.

Tipo de Composto	Quantidade
Base	3
Componentes do Pneu	13
Pisos de Verão	28
Pisos de Inverno	7
<i>Workoff</i>	2
<b>Total</b>	<b>53</b>

No entanto, os números acima apresentados apenas representam os compostos na fase *Final Mix*, ou seja, não representam todos os compostos analisados durante o estudo, uma vez que este aplica-se a todas as fases de produção (*Master Batch* 1 e 2, e *Remill*).

**Tabela 2.3** - Quantidade e principais tipos de Compostos produzidos nas misturadoras.

Misturadora	Nº de Compostos	Tipos de Compostos
0	45	Todos os tipos.
1	37	Todos os tipos.
2	11	Componentes do Pneu.
3	31	Todos os tipos.
4	26	Todos os tipos.
5	29	Todos os tipos.
6	39	Bases, Pisos de Verão e Inverno.
7	41	Bases, Pisos de Verão e Inverno.
9	6	Componentes do Pneu.

Na Tabela 2.3, apresentada acima, é possível verificar o número de compostos produzidos em cada uma das misturadoras do setor, assim como os principais tipos dos respectivos compostos.

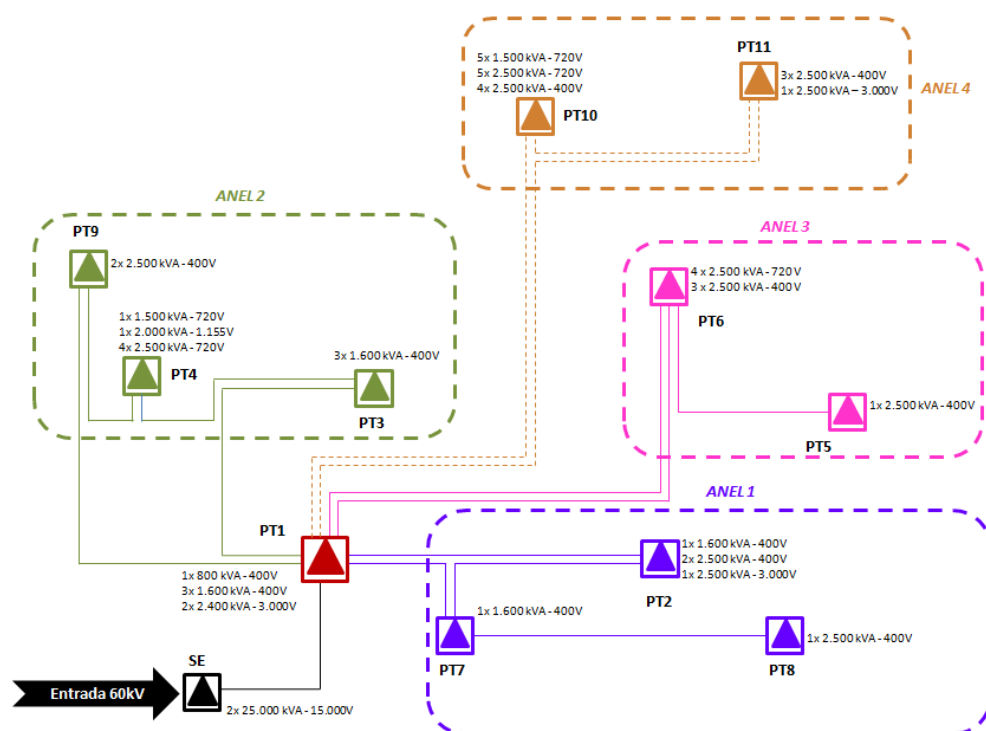
Por motivos de confidencialidade, ao longo desta dissertação os códigos ou nomes originais destes compostos não serão revelados, pelo que sempre que for necessário fazer referência a compostos, estes serão apresentados com um nome fictício, mas corretamente representativo quanto ao tipo e respetiva fase. Assim, a partir deste ponto os compostos serão denominados da seguinte forma: fase\_tipo\_Nº. Por exemplo, “M1 base1” corresponde à fase *Master Batch* 1 do composto de tipo Base, número 1 na lista destes compostos.

## 2.4 - Sistema Elétrico de Energia da Continental Mabor

### 2.4.1 - Rede Elétrica de Média Tensão

Os diferentes setores da linha de produção da Continental Mabor são alimentados eletricamente por uma rede de média tensão de 15 kV, que por sua vez é alimentada por uma subestação AT/MT (60/15 kV) própria da empresa. Dependendo do setor e dos respetivos equipamentos, é feita a transformação para tensão necessária nos postos de transformação correspondentes, e posteriormente nos transformadores dos próprios equipamentos.

Pelo diagrama presente na Figura 2.13 observa-se que a configuração da rede de média tensão é multi anelar, e inclui 11 postos de transformação que se agrupam pelos 4 aneis fechados, com exceção do PT5 no Anel 3, e do PT8 no Anel 1 que são explorados radialmente. Em cada PT, poderá existir pelo menos um Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) 400V, onde na entrada existirá sempre uma central de medida. São nestas centrais de medida que é feita a aquisição de dados relativos aos consumos energéticos das máquinas.



**Figura 2.13** - Diagrama da Rede de Média de Tensão que alimenta os setores do processo de fabrico da Continental Mabor.

Relativamente ao setor em estudo, a Misturação, os motores principais das misturadoras são alimentados pelo lado MT dos postos de transformação PT4 e PT6, a partir de transformadores das próprias máquinas, com duplo enrolamento no secundário. A razão de transformação destes é de 15/0,72 kV para todas as misturadoras diferentes da Misturadora 2, em que o transformador desta tem uma razão de transformação de 15/1,155 kV. A distribuição da alimentação dos motores principais das misturadoras, assim como as características mais relevantes dos respetivos transformadores, são apresentados na Tabela 2.4.

**Tabela 2.4** - Distribuição da alimentação dos motores principais das misturadoras, pelos PTs 4 e 6, e características técnicas dos transformadores de ligação.

Posto de Transformação	Misturadora	Transformador	
		$S_n$ (kVA)	Razão (kV/kV)
PT4	1	2500	15/2x0,72
	2	2000	15/2x1,155
	3	2500	15/2x0,72
	4	2500	15/2x0,72
	9 (Sup.)	2500	15/2x0,72
	9 (Inf.)	1500	15/2x0,72
PT6	0	2500	15/2x0,72
	5	2500	15/2x0,72
	6	2500	15/2x0,72
	7	2500	15/2x0,72

## 2.4.2 - Tarifário Elétrico

Ainda relativamente ao sistema elétrico da Continental Mabor, é importante fazer referência ao fornecimento externo de energia elétrica ao mesmo, assim como o tarifário elétrico em vigor.

O fornecedor contratado desde o início de 2013 é a Endesa Energia S.A., e o tarifário elétrico em vigor corresponde ao Ciclo Semanal Opcional. A estrutura deste tarifário está presente na Tabela 2.5.

**Tabela 2.5** - Estrutura do tarifário elétrico em vigor na Continental Mabor (Ciclo Semanal Opcional) [10].

Ciclo Semanal		Inverno (1 nov. - 30 abr.)		Verão (1 mai. - 31 out.)	
Segunda a Sexta	Ponta	17:00	22:00	14:00	17:00
	Cheia	00:00	00:30	00:00	00:30
		07:30	17:00	07:30	14:00
		22:00	00:00	17:00	00:00
	Vazio	00:30	02:00	00:30	02:00
		06:00	07:30	06:00	07:30
Supervazio	02:00	06:00	02:00	06:00	
Sábado	Cheia	10:30	12:30	10:00	13:30
		17:30	22:30	19:30	23:00
	Vazio	00:00	03:00	00:00	03:30
		07:00	10:30	07:30	10:00
		12:30	17:30	13:30	19:30
		22:30	00:00	23:00	00:00
	Supervazio	03:00	07:00	03:30	07:30
Domingo	Vazio	00:00	04:00	00:00	04:00
		08:00	00:00	08:00	00:00
	Supervazio	04:00	08:00	04:00	08:00

Dado que o estudo presente nesta dissertação incidiu apenas sobre o primeiro trimestre de 2014, apenas foi tido em consideração a estrutura tarifária relativamente ao período de Inverno, que decorre entre 1 de Novembro e 30 de Abril.

Os valores das tarifas registados para cada período são o resultado de uma média calculada a partir dos valores verificados ao longo de cada mês para cada instante ao qual a tarifa é indexada, isto é, a tarifa aplicada é atualizada a cada instante de tempo, com duração definida, que neste caso é de 15 em 15 minutos. É de realçar ainda, que parte desta tarifa é negociada em mercado *spot*<sup>2</sup>. Estes valores das tarifas não serão revelados por motivos de confidencialidade com a empresa.

<sup>2</sup> Mercado *spot*, (*spot market*), ou mercado à vista, é um termo usado para designar mercados onde se negocia ativos para entrega imediata ou a curto prazo, em contraste com os mercados onde se negocia ativos para entrega futura, designados por mercado a prazo [11]. Neste caso os ativos correspondem à energia elétrica.

## 2.5 - Sistema de Avaliação de Indicadores de Desempenho da Continental Mabor

### 2.5.1 - Indicadores de Desempenho na Indústria

A competitividade da economia global levou à alteração da produção planeada para a produção orientada pelas necessidades do mercado. Esta situação trouxe novas exigências associadas à flexibilidade de produção, à eficiência reforçada da mesma, à rápida resposta aos pedidos dos clientes, e à qualidade alta e uniforme dos produtos e serviços.

O melhoramento do desempenho de produção requer a definição de objetivos globais, associados a uma adequada estratégia de implementação e um correto controlo em circuito fechado, para poder atingi-los.

A produção é um processo complexo, que consiste em várias operações, interconectadas por material, energia e transmissão de informação, que são limitadas por uma série de restrições de tempo, organizacionais, tecnológicas e outras. O processo de produção deve ter como resultado, produtos que correspondam consistentemente às especificações do cliente, respeitando, simultaneamente, o imperativo de ser rentável.

Os objetivos da gestão de produção nas indústrias de processo são a utilização eficaz dos seus recursos e a estabilidade da produção aos níveis tecnológico e económico, dadas determinadas restrições, de maneira a obter a rentabilidade esperada [13]. O papel dos gestores de produção nestas indústrias é o de monitorizar o desempenho atual do processo tecnológico, e, com base nos valores atuais dos parâmetros de produção (capacidade de produção, matérias-primas, *stocks*, energia), fazer ajustes das entradas diretas do processo tecnológico (qualidade das matérias-primas, velocidade de produção, quantidade de aditivos, ordem de produção, etc.) de maneira a atingir os objetivos globais de produção.

A fragilidade do papel do gestor de produção está relacionada com a subjetiva percepção das metas globais de produção e na vasta quantidade de dados que não estão corretamente classificados quanto à sua importância para o processo de tomada de decisões. Geralmente os gestores de produção são sobrecarregados com excessivos dados de processos de produção durante a tomada de decisões, e debatem-se com o problema de como extrair a informação relevante destes dados de maneira a tomar decisões rápidas e corretas. Os objetivos globais de produção no contexto de um sistema de gestão da mesma podem ser definidos como valores referência para medidas significantes de eficiência da fábrica, produtividade da fábrica, qualidade média do produto, entre outros. Estes objetivos de produção são também chamados de objetivos implícitos, e podem ser expressos por variáveis mensuráveis e manipuláveis. Uma solução para controlar estas variáveis corresponde à utilização de Indicadores de Desempenho, também conhecidos por *KPIs* (*Key Performance Indicators*) [13].

Um indicador de desempenho pode ser definido como uma variável que expressa quantitativamente a eficácia ou eficiência, ou ambas, de uma parte ou de todo o processo,

ou sistema, comparada com determinado objetivo ou norma [14]. Este indicador pode também ser definido por uma medida de uma porção de informação, importante e utilizável, relativa ao desempenho de um processo, expresso por uma percentagem, um índice, uma taxa ou outra comparação que seja monitorizada em intervalos estabelecidos, e que é comparada por um ou mais critérios [13]. E ainda, considerando uma outra definição, um *KPI* é um número ou valor que pode ser comparado em relação a um objetivo interno ou externo, de forma a obter uma indicação de desempenho. Este valor pode estar relacionado com dados recolhidos ou calculados a partir de qualquer processo ou atividade [15].

A eficácia de um processo de produção pode ser avaliada utilizando informação escondida num conjunto de dados de produção atuais e passados. O problema de extrair a informação relevante dos dados de produção para uma rápida e adequada tomada de decisões pode ser resolvido pela introdução de um conjunto de indicadores de desempenho de produção que demonstram a eficiência operacional a curto prazo. A solução reside na definição de um conjunto apropriado de *KPIs* que são específicos para o processo de produção observado, e na definição de uma estratégia para utilizar estes indicadores para gerir de forma eficiente o respetivo processo.

Utilizando a abordagem de *KPIs*, os objetivos de produção implícitos são traduzidos em valores mensuráveis que podem ser extraídos dos dados de produção existentes. Assim, o conceito de controlo de produção, e o papel de um gestor de produção são ligeiramente alterados: o gestor de produção passa a monitorizar e controlar alguns dos principais indicadores de desempenho, com o intuito de atingir os objetivos implícitos mais importantes da produção, em vez de controlar grandes quantidades de variáveis do processo a um nível baixo de produção [13].

A seleção de um conjunto de medidas de desempenho apropriadas para uma indústria em particular deve ser feita tendo em conta as intenções estratégicas da mesma, que terão sido definidas de acordo com o ambiente competitivo em que opera [15]. Tanto as medidas financeiras como as não financeiras são necessárias para traduzir a estratégia em objetivos específicos que fornecem diretrizes para a correta gestão operacional [14]. Contudo, esta seleção requer um equilíbrio entre as medidas de desempenho escolhidas, para garantir que nenhuma destas é mais salientada pelo detrimento de outra(s). O conjunto de indicadores de desempenho escolhido difere muito de empresa para empresa, até no mesmo ramo de indústria, devido à subjetividade latente em cada empresa. Assim, para estimar o desempenho de produção, a curto prazo, os principais tipos de indicadores que devem ser continuamente calculados e revistos são:

- Indicador de desempenho financeiro (desempenho de negócios);
- Indicador de desempenho tecnológico (medida de produtividade);
- Indicador de eficiência (medida de contribuição de recursos humanos).

As áreas que se pretende avaliar o desempenho devem ser operacionalizadas, isto é, devem ser mensuráveis na forma de indicadores de desempenho, para que as empresas possam monitorizar o seu desempenho e a concretização dos objetivos globais.

A metodologia a utilizar para determinar estes indicadores deve ser capaz de medir todos os aspetos relacionados com a produtividade de fabrico. Uma metodologia adequada permite que os recursos mais escassos sejam geridos de forma a potencializar a produtividade. As empresas que recorrem a esta metodologia são capazes de atingir uma capacidade de produção superior, sem necessidade de custos acrescidos em equipamentos adicionais ou novas tecnologias, ou, por outras palavras, conseguem potencializar a utilização dos recursos disponíveis, aumentando a produtividade, sem investimentos desnecessários.

Assim, o desempenho relativo de cada área ou linha de produção destas empresas pode ser facilmente avaliado através da comparação de *KPIs* com objetivos ou valores referência internos, concorrência e exigências de legislação e de clientes. Depois de realizadas todas as comparações para cada área de desempenho, pode ser feita uma revisão das lacunas de desempenho encontradas, o que permite a identificação das áreas que necessitam de melhoramentos, ou manutenção. Dado que a importância de cada lacuna depende do ambiente de operação das empresas, estas devem definir prioridades sobre quais as áreas em que devem atuar [15].

O esquema apresentado na Figura 2.14 representa uma possível estrutura de uma metodologia de avaliação de desempenho por meio de *KPIs*. Nesta destacam-se dois níveis de controlo. No nível operacional (*Level 1*), é feita uma comparação entre valores de entrada (*Input*) e saída (*Output*) com os objetivos predefinidos (*Goals*). Na função de controlo (*Control Function*), se for verificada uma discrepância entre o valor atual do indicador de desempenho e o objetivo pretendido, é utilizado conhecimento interno do comportamento da empresa para determinar a ação apropriada a tomar para resolver esta lacuna. No nível estratégico ou tático (*Level 2*), o circuito de controlo é utilizado para avaliar e adaptar o controlo do nível 1, alterando objetivos se necessário. Com estes dois circuitos fechados de controlo, esta metodologia extrai a informação correta para o processo de produção, e fornece informação relativa a objetivos para poder avaliar o desempenho do mesmo (*Comparison*), assim como os objetivos predefinidos (*Evaluating*). Informação correta para o processo significa que esta deve ser relevante para o nível de controlo (estratégico, tático ou operacional) e para os objetivos estratégicos da empresa [14].



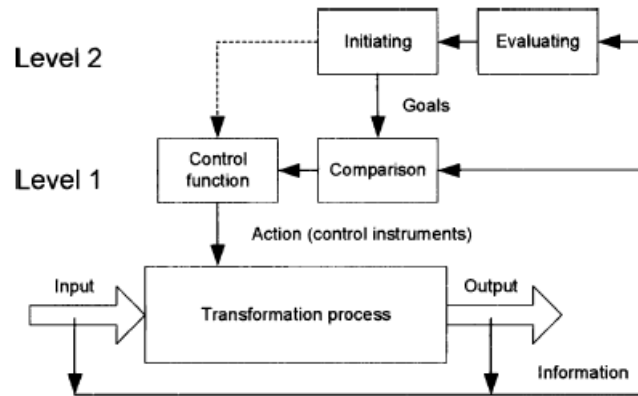


Figura 2.14 - Processo de controlo de uma metodologia de avaliação de desempenho [14].

Os valores dos indicadores de desempenho das empresas, que traduzem o seu desempenho geral, podem ser melhorados através das seguintes ações: treino de operadores, revisão de equipamentos envolvendo melhoramentos técnicos, ajustes nas ordens de produção, redesenho ou alteração de produtos, e melhoramento de instruções de operação. Algumas destas melhorias podem requerer investimentos substanciais, mas uma metodologia adequada de avaliação de desempenho permite retornos financeiros mais rápidos, de forma a acompanhar estes investimentos [15].

Em resumo, um sistema de avaliação de desempenho a partir de *KPIs* produz um tipo fundamental de informação de gestão, necessária para controlar operações. Gera concentração, desencadeia ações corretivas, e pode ajudar a desafiar e melhorar as escolhas estratégicas das empresas [14].

### 2.5.2 - Indicadores de Desempenho na Continental Mabor

Atualmente, a Continental Mabor já possui um sistema de avaliação de indicadores de desempenho. Os *KPIs* avaliados correspondem aos demonstrados na tabela da Figura 2.15, apresentada posteriormente. É importante referir que nesta tabela, os valores referência e os valores reais, assim como a sua avaliação, são omitidos por razões de confidencialidade com a empresa.

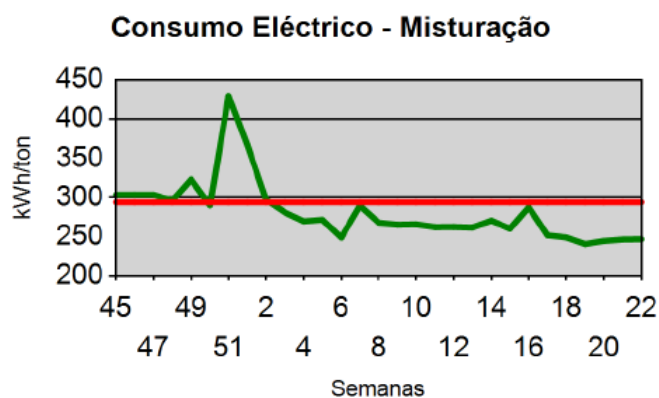
Estes indicadores, tal como é possível constatar, correspondem ao consumo de diferentes tipos de energia, e são determinados a partir do consumo efetivamente verificado, na unidade específica, em relação à quantidade de pneus produzidos, em toneladas. São avaliados no fim de cada semana de laboração e é feita uma comparação com os valores referência, seguida de uma avaliação percentual.

Os valores de referência para cada *KPI* são específicos da planta de Lousado, isto é, distinguem-se dos valores definidos nas outras plantas do Grupo Continental. São definidos no início de cada ano, com base na média dos valores verificados ao longo das semanas do ano anterior para cada um dos indicadores.

Descritivo	KPI Referência	KPI Actual	Unidade	Avaliação %
Consumo Total - Electricidade			kWh/ton	
Consumo Total - Central de Ar			kWh/ton	
Consumo Total - Misturação			kWh/ton	
Consumo Total - Extrusão			kWh/ton	
Consumo Total - Calandragem			kWh/ton	
Consumo Maquinas Construção			kWh/ton	
Consumo Total - Vulcanização			kWh/ton	
Consumo Total - Inspeção Final			kWh/ton	
Consumo Total - Tanque recepção			m3/ton	
Consumo Total - Vapor			ton/ton	

**Figura 2.15** - Tabela com os indicadores de desempenho avaliados semanalmente na Continental Mabor, com os respetivos valores de referência, valores atuais, unidade e avaliação semanal [12].

Os resultados da avaliação dos indicadores de desempenho são apresentados semanalmente no Relatório Geral de Energia [12], sobre a forma de tabela, tal como na Figura 2.15 e ainda sobre a forma gráfica, onde é apresentada a evolução cronológica de cada indicador (curva a verde no gráfico da Figura 2.16) e a linha reta que representa o valor referência do respetivo indicador de desempenho (linha a vermelho no gráfico da figura seguinte), tornando assim possível uma comparação visual entre o valor atual e o valor referência de cada indicador.



**Figura 2.16** - Gráfico de comparação do indicador de consumo elétrico geral da Área da Misturação com o valor referência do respetivo indicador de desempenho [12].

A Figura 2.16 corresponde ao Indicador de Consumo Eléctrico Geral da Área da Misturação, mas no Relatório Geral de Energia são apresentados os gráficos equivalentes a todos os outros indicadores avaliados.

Por análise dos resultados obtidos para os diferentes *KPIs* e com base na avaliação de cada um destes, é possível identificar quais os equipamentos ou áreas da fábrica que necessitam de uma revisão ou melhoramento, quando o valor percentual da avaliação é positivo, o que significa que o consumo foi superior ao valor referência.

## Capítulo 3

# Metodologia de Processamento de Dados

Neste capítulo apresentar-se-á a metodologia e os procedimentos adotados para aquisição, tratamento e análise dos dados necessários para o estudo da caracterização energética dos processos de fabrico do setor de Misturação da Continental Mabor. Numa primeira fase, serão apresentadas as ferramentas ou *softwares* utilizados para recolher os dados relativos aos consumos energéticos dos motores principais das misturadoras e os dados relativos às ordens de produção dos compostos na misturação, para o mesmo período de tempo. Ainda nesta primeira parte, será explicada a estrutura dos dados extraídos. Na segunda secção deste capítulo é desenvolvida a metodologia adotada para processar e organizar os dados recolhidos, fazendo referência às rotinas construídas em VBA ([16][17][18] que possibilitaram um paralelismo mais fácil entre os dados dos consumos energéticos e os dados da produção, mas não só. Na fase seguinte será apresentado o processo de análise dos dados já tratados, que por sua vez, permitiu atingir os objetivos pretendidos, isto é, caracterizar energeticamente os processos de fabrico da Misturação, quanto a consumos e custos, para todas as misturadoras e para todos os compostos. Finalmente, para concluir este capítulo, será exposto o processo de tratamento/eliminação de dados inconsistentes, também conhecidos por *outliers*<sup>3</sup>, relativos aos consumos energéticos.

### 3.1 - Processo e Ferramentas de Recolha de Dados

Os dados necessários à realização do estudo definido nos objetivos desta dissertação dividiram-se em dois tipos de dados: dados relativos aos consumos energéticos desagregados dos motores principais das misturadoras e dados relativos às ordens de produção do setor da Misturação, isto é, séries temporais de produção de compostos.

---

<sup>3</sup> *Outliers* são dados que apresentam um grande afastamento dos restantes ou são inconsistentes com estes. Estes dados são também designados por dados anormais, contaminantes ou extremos [19][20].

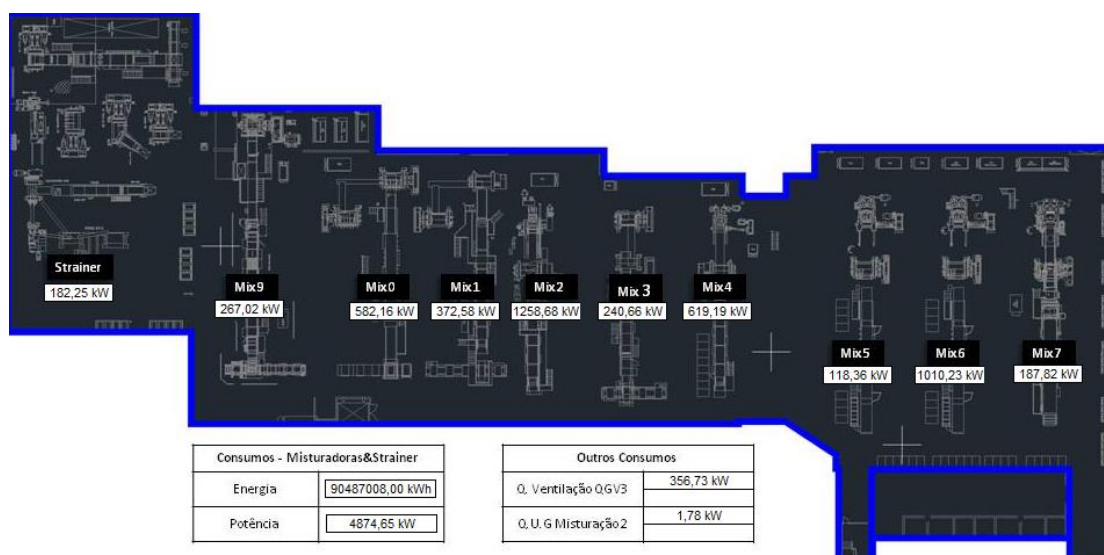
O processo de recolha destes dados foi realizado em diferentes fases, uma vez que o intervalo de tempo escolhido para o estudo coincidiu com o primeiro trimestre do presente ano. Assim, nos primeiros dias após o início do estágio (a partir de 18 de fevereiro de 2014), foram extraídos os dados relativos ao mês de janeiro, e no fim dos meses de fevereiro e de março foram igualmente extraídos os respetivos dados. Foi escolhido analisar apenas os dados do primeiro trimestre de 2014 porque as centrais de medida de consumos energéticos só ficaram completamente configuradas no final de 2013.

Para recolher os dados relativos aos consumos energéticos foi necessário recorrer às bases de dados do *software Messdas*, que corresponde à ferramenta utilizada como Sistema de Gestão de Energia da Continental Mabor. Quanto aos dados sobre as ordens de produção da Misturação, recorreu-se ao *software Mixer Control Center*, da *Siemens*. Esta ferramenta serve para, tal como o nome indica, controlar o setor da Misturação. Seguidamente, serão exploradas as funcionalidades mais importantes destas duas ferramentas, assim como a estrutura dos dados extraídos de ambas.

### 3.1.1 - Ferramenta *Messdas*

O sistema *Messdas* é um Sistema de Gestão de Energia, simples de trabalhar, para todos os tipos de energia consumidos na Continental Mabor: Eletricidade, Vapor, Ar Comprimido e Água.

A utilização desta ferramenta permite acompanhar de forma pormenorizada os consumos dos diversos setores e/ou equipamentos mais representativos, e neste caso, do setor da Misturação em geral, assim como de cada uma das misturadoras.



**Figura 3.1** - Sinótico de visualização do setor da Misturação contendo os consumos energéticos instantâneos (kW) por misturadora, e os consumos gerais do setor, instantâneo e acumulado (kWh).

A informação adquirida pelo *Messdas* nas centrais de medida dos equipamentos permite uma contabilidade energética, tornando-se uma ferramenta imprescindível para detetar desvios ao consumo padrão da instalação, bem como acompanhar a evolução dos consumos após a implementação de eventuais medidas de poupança.

É um sistema bastante flexível, uma vez que permite a inserção de um grande número de diferentes tipos de contadores (água, vapor, ar comprimido, temperatura, elétricos, pressão, etc.) com variados tipos de protocolos de comunicação (4-20mA; *ModBus*; *Mbus*; *OPC*).

O *Messdas* permite o acesso aos consumos através de sinóticos (*Chart Monitor*) e listas de entidades (*Messdas Classic*), onde facilmente é possível traçar alarmes de aviso, gráficos de consumo, notas e guardar documentos importantes ao processo.



Figura 3.2 - Menu inicial do Sistema de Gestão de Energia *Messdas*.

O sistema *Messdas* permite uma monitorização em tempo real. E dessa forma, além de disponibilizar a possibilidade de visualizar os sinóticos de cada um dos setores e respetivos processos, de acordo com necessidades da Continental, também permite aos utilizadores configurar alarmes para o processo no qual estão a trabalhar.

A configuração destes alarmes, com base no estudo da presente dissertação, corresponde a um dos trabalhos futuros explorados no último capítulo deste documento.

**ELE - 154 z, Elect. 15 KV, Elect. 15 KV, Misturadora 4, Transformador 4.4 (lado primario) z**

<b>1. Alarme do valor limite</b> <span style="float: right;">On</span>		<b>2. Alarme do valor limite</b> <span style="float: right;">On</span>	
Limite superior	<input type="text" value="0,00000"/> kWh <input type="checkbox"/>	Limite superior	<input type="text" value="0,00000"/> kWh <input type="checkbox"/>
Limite inferior	<input type="text" value="0,00000"/> kWh <input type="checkbox"/>	Limite inferior	<input type="text" value="0,00000"/> kWh <input type="checkbox"/>
De ... até	<input type="text" value="20-05-2014"/> <input type="text" value="20-05-2014"/> <input type="checkbox"/>	De ... até	<input type="text" value="20-05-2014"/> <input type="text" value="20-05-2014"/> <input type="checkbox"/>
<b>4. Alarme do valor limite</b> <span style="float: right;">On</span>		<b>3. Alarme do valor limite</b> <span style="float: right;">On</span>	
Limite superior	<input type="text" value="0,00000"/> kWh <input type="checkbox"/>	Limite superior	<input type="text" value="0,00000"/> kWh <input type="checkbox"/>
Limite inferior	<input type="text" value="0,00000"/> kWh <input type="checkbox"/>	Limite inferior	<input type="text" value="0,00000"/> kWh <input type="checkbox"/>
De ... até	<input type="text" value="20-05-2014"/> <input type="text" value="20-05-2014"/> <input type="checkbox"/>	De ... até	<input type="text" value="20-05-2014"/> <input type="text" value="20-05-2014"/> <input type="checkbox"/>

**Figura 3.3** - Menu de configuração de alarmes para variações de consumo energético (kWh) no motor principal da Misturadora 4.

Relativamente à recolha de dados relativos aos consumos energéticos dos motores principais das misturadoras, este procedimento foi feito a partir do acesso à lista de entidades (figura abaixo), *Messdas Classic* acima referido, correspondente ao registo das leituras efetuadas pelos contadores elétricos existentes no lado primário (15kV, MT) dos transformadores ligados aos respetivos motores de todas as misturadoras.

Watchlist:

Contador N°	Edifício	Tipo de energia	Setor	Designação	Valor	Unidade	Info	Limite	Gráfico
ELE - 154 z	PT4	Elect. 15 KV	Misturadora 4	Transformador 4.4 (lado primario) z	7427406 kWh				
ELE - 155 z	PT4	Elect. 15 KV	Misturadora 3	Transformador 4.3 (lado primario) z	4751983 kWh				
ELE - 156 z	PT4	Elect. 15 KV	Misturadora 2	Transformador 4.2 (lado primario) z	2438884 kWh				
ELE - 157 z	PT4	Elect. 15 KV	Misturadora 1	Transformador 4.1 (lado primario) z	4926977 kWh				
ELE - 158 z	PT4	Elect. 15 KV	Misturadora 9	Transformador 4.5 (lado primario) z	3075077 kWh				
ELE - 159 z	PT4	Elect. 15 KV	Misturadora 9	Transformador 4.6 (lado primario) z	1251617 kWh				
ELE - 160 z	PT6	Elect. 15 KV	Misturadora 0	Transformador 6.7 (lado primario) z	2056275 kWh				
ELE - 161 z	PT6	Elect. 15 KV	Misturadora 5	Transformador 6.4 (lado primario) z	4727795 kWh				
ELE - 162 z	PT6	Elect. 15 KV	Misturadora 6	Transformador 6.5 (lado primario) z	4337015 kWh				
ELE - 163 z	PT6	Elect. 15 KV	Misturadora 7	Transformador 6.6 (lado primario) z	4708395 kWh				

**Figura 3.4** - Menu de seleção de dados a extrair relativos aos consumos energéticos acumulados dos motores principais das misturadoras.

Desta forma, os dados dos consumos energéticos dos motores principais das misturadoras correspondentes aos meses a que o estudo desta dissertação se aplicou, foram exportados a partir de um ficheiro do tipo \*.csv, com a estrutura apresentada na tabela seguinte.

**Tabela 3.1** - Estrutura dos dados extraídos do sistema *Messdas* relativos aos consumos energéticos acumulados dos motores principais das misturadoras.

Nº do contador	Tipo de energia	Setor	Designação	Data	Hora	Valor (kWh)
ELE - 154 z	Elet. 15 KV	Misturadora 4	Transformador 4.4 (lado primário) z	02-01-2014	19:45:00	6241756
ELE - 154 z	Elet. 15 KV	Misturadora 4	Transformador 4.4 (lado primário) z	02-01-2014	20:00:00	6241891
ELE - 154 z	Elet. 15 KV	Misturadora 4	Transformador 4.4 (lado primário) z	02-01-2014	20:15:00	6242025
ELE - 154 z	Elet. 15 KV	Misturadora 4	Transformador 4.4 (lado primário) z	02-01-2014	20:30:00	6242163
ELE - 154 z	Elet. 15 KV	Misturadora 4	Transformador 4.4 (lado primário) z	02-01-2014	20:45:00	6242242
ELE - 154 z	Elet. 15 KV	Misturadora 4	Transformador 4.4 (lado primário) z	02-01-2014	21:00:00	6242330
ELE - 154 z	Elet. 15 KV	Misturadora 4	Transformador 4.4 (lado primário) z	02-01-2014	21:15:00	6242435
ELE - 154 z	Elet. 15 KV	Misturadora 4	Transformador 4.4 (lado primário) z	02-01-2014	21:30:00	6242544

Quanto à estrutura apresentada acima, é importante referir que o valor do consumo energético, em kWh, da última coluna de uma dada linha, é um valor acumulado, ou seja, é a soma do valor do intervalo de 15 minutos anterior mais a variação que se verificou no intervalo em questão. A variação do consumo acumulado que se verifica a cada intervalo corresponde a uma média dos valores verificados nesse mesmo intervalo de 15 minutos.

### 3.1.2 - Ferramenta *Mixer Control Center*

O processo de produção do setor da Misturação é controlado a partir do *software Mixer Control Center*, desenvolvido pela Siemens, especificamente para a Continental Mabor. Este sistema, de alguma complexidade, permite controlar todos os aspetos relacionados com a produção dos compostos: listas de receitas de compostos, listas de pedidos, *stock* do armazém (virtual), ordens de produção e valores reais de diferentes grandezas associadas ao processo de fabrico de compostos. Este sistema permite ainda o armazenamento do registo destes valores em bases de dados, que posteriormente podem ser acedidos e exportados. No entanto, a exportação direta a partir desta ferramenta não se aplica a todos os dados registados.

A mesma permite acompanhar de forma global todo o setor da Misturação, mas da mesma forma, permite controlar o processo de cada misturadora individualmente. Na figura seguinte é possível observar o menu de controlo da Misturadora 1, onde se pode destacar os submenus de configuração da mesma, de receitas disponíveis para esta misturadora, assim como os compostos a ser atualmente produzidos, os componentes e os silos de matérias-primas, a lista de pedidos e armazém virtual, e mais importante para o estudo desta dissertação, o submenu dos valores reais das grandezas associadas ao processo de fabrico dos compostos.

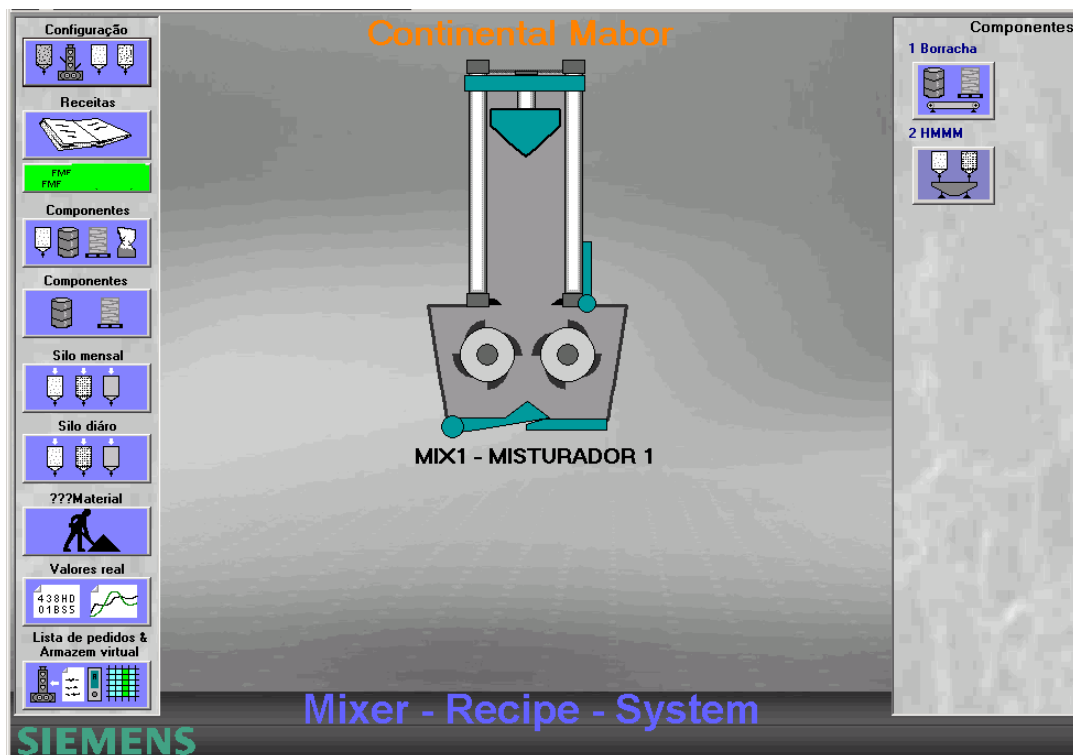


Figura 3.5 - Menu inicial do software *Mixer Control Center*, para a Misturadora 1.

As listas das ordens de produção dos compostos são atualizadas constantemente e podem ser consultadas em tempo real para apenas uma misturadora, para todas as misturadoras, para compostos *Master* ou *Final*, por turno (de 8h cada), ou para o dia todo. Nestas listas (Figura 3.6) é possível identificar: a misturadora selecionada para produzir; o código da receita do composto a ser produzido; o peso referência para a quantidade de *batches* (cargas) do composto a ser produzido; o peso real da quantidade produzida até ao instante de consulta; a quantidade de *batches* a produzir e a quantidade que falta até concluir; o estado do processo; a duração referência do processo de mistura; e finalmente, os instantes de arranque e de conclusão do processo.

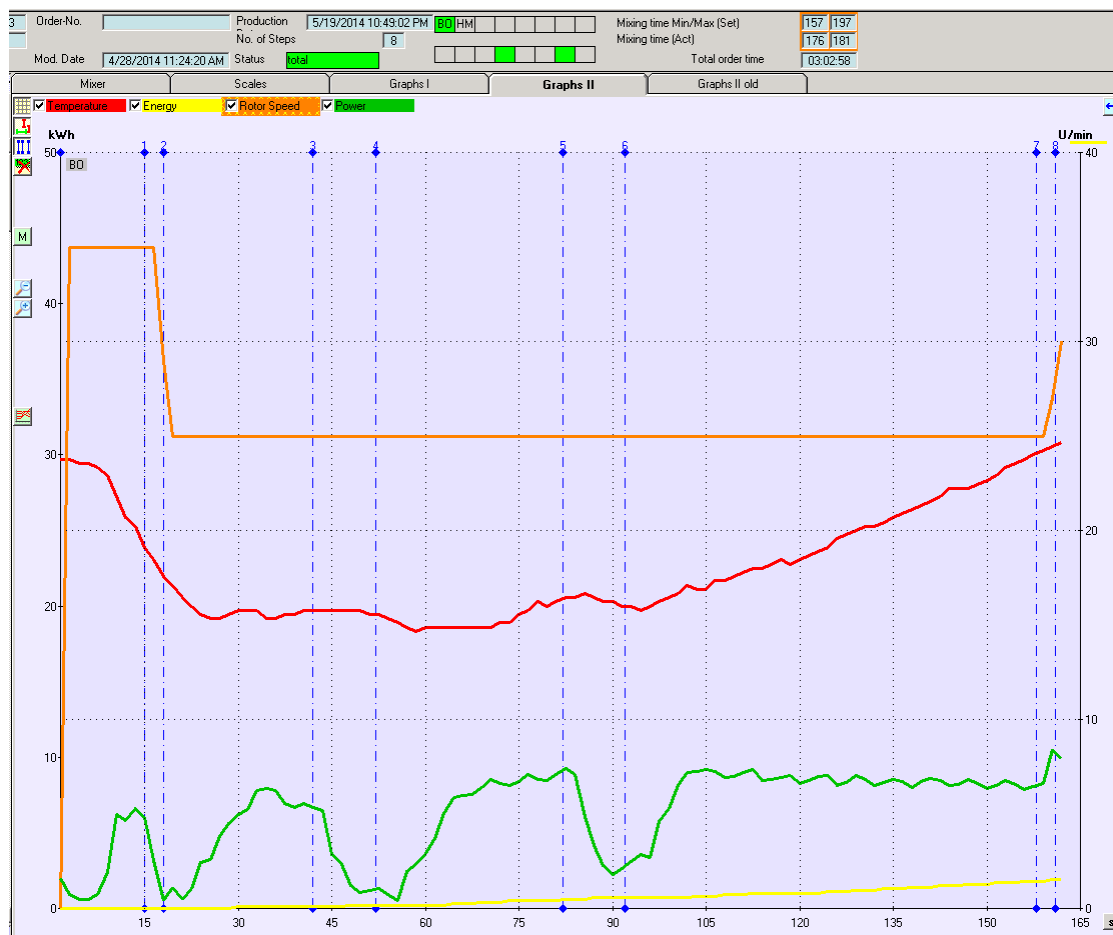


Misturadora actual   Todas as Misturadoras   Master/Final   Protocol do Turno   Overview day												
Ordem actual												
Mist.	Pos.	Ordens-Nr.	Cód. receita	Ref. <sup>2</sup> (kg)	Act. (kg)	Ref. <sup>2</sup> (Bat.)	Falta (Bat.)	Status	Duracao (Ref. <sup>2</sup> )	Hora arran.	Hora fim	No de tiras
M1	90		FMF	222		1	1	activo	03:21	5/18/2014 9:51:00 PM	5/20/2014 12:39:00 PM	
M1	110		FMF	245		1	1	activo	03:01	5/19/2014 2:41:00 AM	5/20/2014 12:19:00 PM	
M1	120		FMF	222		1	1	activo	03:21	5/19/2014 5:53:00 AM	5/20/2014 12:39:00 PM	
M1	130		FMF	248		1	1	activo	01:39	5/19/2014 9:07:00 AM	5/20/2014 10:57:00 AM	
M1	140		FMF	222		1	1	activo	02:33	5/19/2014 10:49:00 AM	5/20/2014 11:51:00 AM	
M1	150		FMF	245		1	1	activo	03:01	5/19/2014 1:31:00 PM	5/20/2014 12:19:00 PM	
M1	160		FMF	242		1	1	activo	02:36	5/19/2014 4:36:00 PM	5/20/2014 11:54:00 AM	
M1	180		FMF	240		1	1	activo	02:06	5/19/2014 8:05:00 PM	5/20/2014 11:24:00 AM	
M1	190		FMF	261		1	1	activo	00:56	5/19/2014 10:12:00 PM	5/20/2014 10:14:00 AM	
M1	230		FMF	7,472	3,238	30	17	activo	01:24	5/20/2014 8:36:00 AM	5/20/2014 10:05:00 AM	
M2	70		M2	12,359	12,153	60	1	activo	02:33	5/19/2014 6:00:00 AM	5/20/2014 9:20:00 AM	
M2	120		M2	14,419	9,064	70	26	activo	03:34	5/20/2014 7:05:00 AM	5/20/2014 10:37:00 AM	
M3	30		FMF	13,223	13,002	60	1	activo	03:14	5/18/2014 9:23:00 PM	5/20/2014 9:21:00 AM	
M3	80		FMF	7,788	7,529	30	1	activo	01:28	5/19/2014 10:05:00 AM	5/20/2014 9:20:00 AM	
M3	90		R	9,415	9,179	40	1	activo	02:05	5/19/2014 11:42:00 AM	5/20/2014 9:21:00 AM	
M3	120		FMF	9,657	9,416	40	1	activo	01:52	5/19/2014 8:35:00 PM	5/20/2014 9:20:00 AM	
M3	130		FMF	2,510	2,259	10	1	activo	00:27	5/19/2014 10:26:00 PM	5/20/2014 9:20:00 AM	
M3	150		FMF	10,464	10,202	40	1	activo	01:38	5/20/2014 2:16:00 AM	5/20/2014 9:20:00 AM	
M3	170		FMF	7,531	6,778	30	3	activo	01:23	5/20/2014 7:58:00 AM	5/20/2014 9:26:00 AM	
M4	110		FMF	11,797	11,561	50	1	activo	02:44	5/19/2014 5:45:00 PM	5/20/2014 9:21:00 AM	
M4	190		M1	14,055	7,496	60	28	activo	02:56	5/20/2014 7:16:00 AM	5/20/2014 10:40:00 AM	
M5	100		R1	4,200		20	20	activo	01:14	11/11/2000 11:11:11 AM	5/20/2014 10:32:00 AM	
M5	150		M1	11,205	16,583	50	-24	activo	02:39	11/11/2000 11:11:11 AM	5/20/2014 8:02:00 AM	
M6	120		M1	10,201	6,886	40	13	activo	03:32	5/20/2014 6:00:16 AM	5/20/2014 10:26:00 AM	
M7	120		M1	12,613	1,766	50	43	activo	03:40	5/20/2014 8:31:29 AM	5/20/2014 12:27:00 PM	
M9	180		FMO	73,435	26,518	180	15	activo	07:27	5/20/2014 2:37:58 AM	5/20/2014 2:03:00 PM	
M10	210		FMF	19,295	2,894	80	63	activo	03:16	5/20/2014 8:45:00 AM	5/20/2014 12:04:00 PM	

**Figura 3.6** - Lista da ordem de compostos a serem produzidos no instante de consulta, para todas as misturadoras, no dia 20/05/2014.

As grandezas associadas ao processo de fabrico de cada *batch* dos diferentes compostos podem ser consultadas em tempo real ou a partir do acesso a bases de dados. Estas grandezas são: pressão do martelo (%); velocidade do rotor (%); duração por etapa do processo (s); energia consumida (kWh); temperatura do corpo da misturadora, do rotor, da porta descarga e do *batch* (°C); RPM; binário do motor (Nm); e corrente fornecida (A). Na figura seguinte é possível observar a variação destas grandezas durante o processo de fabrico de um dado *batch* de um determinado composto.

Ordem-Nr.		Data Produção		5/19/2014 10:49:02 PM		60		HM						Tempo mistura mín./máx.		157		197		
Mod. Data		4/28/2014 11:24:20 AM		Status		Total								Tempo mistura (real)		176		181		
														Tempo prod. todas		03:02:58				
Misturadora		Balanças		Gráficos I		Gráficos II		Gráficos II old												
Etap Nr.	Martelo		Rotor		PSE 1		PSE 2		PSE 3		PSE 4		PSE 5		Temperatur T.C.U.S em °C		Temper.		Motor	
	Pressão em %		Veloc. em %		Tempo em s		Energia em kWh		Temperatura em °C		RPM		Binário		Corpo Rotor Porta descarga Martelo		Batch em C		Corrente em A	
	Refer:	Val. real	Refer:	al. real	Refer:	Val. real	Refer:	Val. real	Refer:	Val. real	Refer:	Val. real	Refer:	Val. real	al. real	al. rea	Val. real	Val. real	Val. real	Val. real
1	10		35	35	15 (15)	15 (15)				84		4		38390	38	40	64		107	430
2	10		25	25	18 ( 3)	18 ( 3)				77				303750	38	40	63		107	355
3	95	90	25	25	42 (24)	42 (24)		0.1		71		5		320000	38	40	64		107	594
4	10		25	25	52 (10)	52 (10)		0.2		69		2		154500	38	40	64		107	339
5	95	89	25	25	82 (30)	82 (30)		0.6	103	74		4		275530	38	40	65		107	710
6	10		25	25	92 (10)	92 (10)		0.7		72		2		320000	39	40	65		107	403
7	95	92	25	25	162 (70)	158 (66)		1.8	110	110		12		106400	39	40	66		110	652
8	95	91	30	30	165 ( 3)	161 ( 3)		1.9		111				240650	39	40	66		111	697



**Figura 3.8** - Gráfico da evolução temporal das grandezas registadas pelo *software Mixer Control Center*, para um dado *batch* de um composto aleatório (mesmo *batch* e mesmo composto que a figura anterior).

Relativamente à exportação dos dados, apesar de existir o registo de todas as grandezas acima referidas, o sistema de controlo do setor da Misturação, o *Mixer Control Center*, apenas permite exportar dados de pesos e quantidades (*Mix weights*) e de passos e tempos (*Mix steps*) relativos ao processo de misturação dos compostos. No entanto, para a concretização dos objetivos da presente dissertação, nomeadamente, para caracterizar o consumo energético dos compostos produzidos, estes dados possíveis de exportar foram suficientes, uma vez que foi feito um paralelismo entre os dados dos consumos energéticos, anteriormente explicados, e estes dados, de maneira a alcançar o objetivo enunciado. Este procedimento será explorado na secção seguinte deste capítulo.

A possibilidade de exportar todas estas grandezas é também um dos pontos a explorar nas perspetivas de trabalho futuro, presentes no último capítulo deste documento.

Os dados correspondentes a quantidades (número de *batches*) e pesos foram extraídos das bases de dados do *software*, recorrendo ao menu apresentado na figura seguinte. Esta exportação foi feita individualmente para os três meses, sobre os quais o estudo desta dissertação incidiu. É de destacar neste menu a possibilidade de seleccionar quais as misturadoras e quais os compostos de que se pretende exportar os dados.

Date	Mixer	Recipe Code	Batch-No	No. of Bat.	WS	WEI	SW	Act	autom. man.	Common	Common
1/2/2014 3:01:35	4	M0	2	2	*	*	486.240	484.780			
1/2/2014 6:14:25	9	M0	12	10	*	*	2505.279	2507.529			
1/2/2014 6:20:15	6	M0	1	2	*	*	200.000	201.100			
1/2/2014 6:30:50	10	M0	1	2	*	*	167.100	168.300			
1/2/2014 6:31:10	5	M1	50	50	*	*	11205.160	11231.130			
1/2/2014 6:53:15	6	R1	19	35	*	*	3990.000	3987.300			
1/2/2014 6:56:50	4	M1	160	94	*	*	38328.740	38445.680			
1/2/2014 7:39:30	7	M1	30	20	*	*	7567.643	7562.976			
1/2/2014 8:05:56	6	M1	70	50	*	*	16742.130	16733.430			
1/2/2014 8:22:21	10	FMF	93	80	*	*	20493.480	20451.480			
1/2/2014 9:30:44	9	FMO	120	120	*	*	29558.800	29683.830			
1/2/2014 9:43:22	2	M0	1	2	*	*	167.100	168.100			
1/2/2014 9:51:24	5	M1	60	60	*	*	13510.560	13564.470			
1/2/2014 10:02:08	2	M2	51	50	*	*	10505.490	10541.430			
1/2/2014 10:57:09	7	R1	30	30	*	*	7560.000	7532.600			
1/2/2014 10:58:30	3	F1	9	40	*	*	1815.088	1813.968			
1/2/2014 12:23:56	7	M1	50	50	*	*	12362.750	12355.220			
1/2/2014 12:51:35	2	M1	60	60	*	*	12009.170	12040.350			
1/2/2014 1:29:27	5	M2	75	75	*	*	18540.730	18494.680			
1/2/2014 1:31:29	3	F1	1	40	*	*	226.706	226.630			
1/2/2014 1:37:51	10	FMF	20	20	*	*	4936.000	4960.240			
1/2/2014 1:47:56	3	F1	32	31	*	*	6796.794	6788.209			
1/2/2014 2:48:50	10	FMF	30	60	*	*	7237.409	7215.244			

Figura 3.9 - Menu do *software* *Mixer Control Center* de exportação de dados relativos a quantidades e pesos (*Mix weights*) dos compostos produzidos durante o mês de janeiro.

A estrutura do ficheiro \*.csv que contém os dados exportados relativos a quantidades e pesos é apresentada na

Tabela 3.2. A data e hora da primeira coluna corresponde ao instante de chamada da ordem de produção de todos os *batches* do composto a produzir. Na segunda e terceira colunas destacam-se a misturadora seleccionada e o composto a produzir. Já na coluna “*Batch-No*”, os valores presentes correspondem ao total de *batches* produzidos enquanto que na coluna seguinte os valores representam o número de *batches* a produzir. Estes valores nem sempre coincidem. Nas últimas duas colunas, são expressos o valor do peso total esperado (valor referência) para a quantidade de *batches* a produzir, e o valor do peso real verificado para os *batches* produzidos, respetivamente. Todos estes dados foram utilizados para determinar qual a misturadora mais utilizada para produzir cada composto, ao longo dos três meses estudados.

Tabela 3.2 - Estrutura dos dados exportados relativos a quantidades e pesos dos compostos produzidos.

Date	Mixer	Recipe Code	Batch-No.	No. of Bat.	SW	Act
01-02-2014 06:31	5	M1 base1	50	50	11205.16	11231.13
01-02-2014 06:53	6	R1 componente10	19	35	3990	3987.3
01-02-2014 06:56	4	M1 componente5	160	94	38328.74	38445.68
01-02-2014 07:39	7	M1 verao18	30	20	7.567.643	7.562.976
01-02-2014 08:05	6	M1 verao13	70	50	16742.13	16733.43
01-02-2014 08:22	10	FMF componente6	93	80	20493.48	20451.48
01-02-2014 09:30	9	FMO componente8.1	120	120	29558.8	29683.83
...	...	...	...	...	...	...

Através do menu apresentado na Figura 3.10 foi possível exportar os dados relativos a passos e tempos de produção de todos os compostos em todas as misturadoras. Estes dados, seguidamente explicados, foram os mais importantes para a caracterização energética dos processos de fabrico da Misturação, uma vez que foi a partir destes que foi feito o paralelismo entre estes e os dados de consumo energético dos motores principais das misturadoras.

Date	Mixer	Recipe Code	Batch-No.	autom. man.	Batch start	Batch time	TM step time	BM step time	Drop door open	loss time	TM 1 time	TM 1 temp	TM 2 time	TM 2 temp	TM 3 time	TM 3 temp
1/2/2014 2:16:33 AM	5	MO	1	A	1/2/2014 6:27:56 AM	125			18		12	12	64	15	15	68
1/2/2014 3:01:35 AM	4	MO	1	A	1/2/2014 6:41:45 AM	236	193			43	17	17	46	50	50	91
1/2/2014 3:01:35 AM	4	MO	2	A	1/2/2014 6:45:41 AM	194					17	17	105	50	50	93
1/2/2014 3:20:16 AM	7	MO	1	M	1/2/2014 7:34:21 AM	241			16		12	12	36	15	15	42
1/2/2014 6:14:25 AM	9	MO	1	A	1/2/2014 6:52:07 AM	6636	6002	129	2	632	10	10	48	50	62	64
1/2/2014 6:14:25 AM	9	MO	2	A	1/2/2014 8:42:43 AM	269	212	198	22	35	10	10	58	50	50	103
1/2/2014 6:14:25 AM	9	MO	3	A	1/2/2014 8:47:12 AM	432	265	198	22	145	10	10	103	50	50	113
1/2/2014 6:14:25 AM	9	MO	4	A	1/2/2014 8:54:24 AM	239	195	198	22	22	10	10	72	50	50	112
1/2/2014 6:14:25 AM	9	MO	5	A	1/2/2014 8:58:23 AM	238	198	198	21	19	10	10	116	50	50	113
1/2/2014 6:14:25 AM	9	MO	6	A	1/2/2014 9:02:21 AM	227	204	198	21	2	10	10	114	50	50	114
1/2/2014 6:14:25 AM	9	MO	7	A	1/2/2014 9:06:08 AM	224	198	198	21	5	10	10	126	50	50	118
1/2/2014 6:14:25 AM	9	MO	8	A	1/2/2014 9:09:52 AM	248	201	198	21	26	10	10	124	50	50	116
1/2/2014 6:14:25 AM	9	MO	9	A	1/2/2014 9:14:00 AM	240	195	198	21	24	10	10	116	50	50	116
1/2/2014 6:14:25 AM	9	MO	10	A	1/2/2014 9:18:00 AM	232	197	198	21	14	10	10	117	50	50	115
1/2/2014 6:14:25 AM	9	MO	11	A	1/2/2014 9:21:52 AM	215	193	198	21	1	10	10	120	50	50	118
1/2/2014 6:14:25 AM	9	MO	12	A	1/2/2014 9:25:27 AM	197	65	21			10	10	130	50	50	117
1/2/2014 6:14:54 AM	10	MO	1	M	1/2/2014 6:26:11 AM	18	65	14			22	18	40			
1/2/2014 6:20:15 AM	6	MO	1	A	1/2/2014 6:50:43 AM	107	65	16			12	12	46	15	15	53
1/2/2014 6:30:50 AM	10	MO	1	M	1/2/2014 8:17:20 AM	223	65	14			22	22	44	25	25	45
1/2/2014 6:31:10 AM	5	M1	1	A	1/2/2014 7:07:20 AM	224	177	65	16	31	8	8	38	28	29	70
1/2/2014 6:31:10 AM	5	M1	2	A	1/2/2014 7:11:04 AM	189	171	65	16	2	8	8	117	28	28	85
1/2/2014 6:31:10 AM	5	M1	3	A	1/2/2014 7:14:13 AM	187	169	65	16	2	8	8	129	28	28	84
1/2/2014 6:31:10 AM	5	M1	4	A	1/2/2014 7:17:20 AM	184	166	65	16	2	8	8	137	28	28	95
1/2/2014 6:31:10 AM	5	M1	5	A	1/2/2014 7:20:24 AM	188	167	65	16	5	8	8	133	28	28	82
1/2/2014 6:31:10 AM	5	M1	6	A	1/2/2014 7:23:32 AM	223	169	65	16	38	8	8	122	28	28	83
1/2/2014 6:31:10 AM	5	M1	7	A	1/2/2014 7:27:15 AM	185	166	65	16	3	8	8	123	28	28	80
1/2/2014 6:31:10 AM	5	M1	8	A	1/2/2014 7:30:20 AM	190	165	65	16	9	8	8	136	28	28	85
1/2/2014 6:31:10 AM	5	M1	9	A	1/2/2014 7:33:30 AM	184	166	65	16	2	8	8	137	28	28	83

Figura 3.10 - Menu do software Mixer Control Center de exportação de dados relativos a passos de produção de compostos (Mix steps) e respetivos tempos, para o mês de janeiro.

**Tabela 3.3** - Estrutura dos dados exportados relativos a passos e tempos de produção de compostos e respetivos tempos.

<i>Date</i>	<i>Mixer</i>	<i>Recipe Code</i>	<i>Batch-No.</i>	<i>Auto./Man.</i>	<i>Batch start</i>	<i>Batch time</i>
01-02-2014 06:31	5	M1 base1	1	A	01-02-2014 07:07	224
01-02-2014 06:31	5	M1 base1	2	A	01-02-2014 07:11	189
01-02-2014 06:31	5	M1 base1	3	A	01-02-2014 07:14	187
...	...	...	...	...	...	...
01-02-2014 06:31	5	M1 base1	47	A	01-02-2014 09:37	179
01-02-2014 06:31	5	M1 base1	48	A	01-02-2014 09:40	178
01-02-2014 06:31	5	M1 base1	49	A	01-02-2014 09:43	188
01-02-2014 06:31	5	M1 base1	50	A	01-02-2014 09:46	
...	...	...	...	...	...	...

Na Tabela 3.3 é apresentada a estrutura de dados do ficheiro \*.csv exportado. O conteúdo das três primeiras colunas é tal e qual o da estrutura de dados anterior: data e hora de chamada da ordem de produção do composto, misturadora escolhida e composto a produzir. Na coluna “*Batch-No*” é indicado o número do *batch* iniciado no instante correspondente à data e hora da coluna “*Batch start*”. Este número de *batch* vai incrementando por linha até o processo de fabrico do composto estar concluído. Os valores da última coluna correspondem à duração do processo de misturação para cada *batch*, estes são expressos em segundos. Nesta estrutura ainda existe a coluna “*Auto./Man.*”, a qual indica se o processo foi iniciado automaticamente ou manualmente, no entanto, os dados da mesma não influenciaram em nada o estudo desta dissertação.

### 3.2 - Processamento e Organização de Dados Recolhidos

Ao longo dos primeiros meses do estágio e depois de recolhidos os dados necessários ao estudo, iniciou-se o tratamento dos mesmos, de maneira a atingir os resultados pretendidos.

Numa primeira fase, com o objetivo de avaliar a preferência de utilização das diferentes misturadoras para fabricar cada composto, utilizaram-se os dados relativos a quantidades e pesos das ordens de produção. Para cada mês, recorrendo a tabelas dinâmicas no *MS Excel*, fez-se uma contagem das vezes que cada composto era produzido nas misturadoras disponíveis para o mesmo, e com base no maior valor da contagem determinou-se qual a misturadora mais utilizada por cada composto. Para poder chegar a um resultado geral, isto é, a uma média de qual a misturadora mais utilizada, juntaram-se os dados dos três meses, e procedeu-se da mesma forma. Este procedimento, juntamente com a posterior caracterização do consumo energético dos compostos em cada misturadora, mostrou-se importante para verificar se a misturadora mais utilizada por cada composto corresponde, ou não, à que consome menos energia entre as disponíveis para produzir o respetivo composto.

Na Tabela 3.4 é possível observar um excerto da estrutura utilizada para o procedimento anteriormente explicado.

**Tabela 3.4** - Determinação da misturadora mais utilizada para produzir cada composto.

Composto	Misturadora (Contagem)									Total	Misturadora mais Utilizada
	0	1	2	3	4	5	6	7	9		
F1 componente7	17			55						72	3
FMF componente2	93									93	0
FMO componente8.1									93	93	9
M1 componente13			6							6	2
M1 base1						46		44		90	5
M1 base3						6	8	2	2	18	6
M1 verao2							14	26		40	7

A partir da Tabela 3.4 é possível constatar que existem compostos que são produzidos exclusivamente numa misturadora (ex.: FMF componente2), e outros que são produzidos em várias. Outra importante constatação é que existem compostos que são produzidos muito poucas vezes (ex.: M1 componente13), o que posteriormente demonstrar-se-á como um fator negativo à caracterização energética desses mesmos compostos.

Para iniciar o processo de caracterização energética dos compostos começou-se por organizar e a estruturar os dados recolhidos relativos aos consumos energéticos dos motores principais das misturadoras, e os dados relativos a tempos e passos das ordens de produção dos compostos.

Em relação aos consumos energéticos, estes foram separados por misturadora, e como referido na secção anterior, por estes corresponderem a valores acumulados, para cada intervalo de 15 minutos determinou-se o valor de energia consumido no mesmo, pela simples subtração do valor correspondente ao intervalo pelo valor do intervalo anterior. Na Tabela 3.5 observa-se a um exemplo da nova estrutura destes dados. Em relação à estrutura anterior, eliminaram-se as colunas sem utilidade para o estudo, e separou-se data e hora para facilitar a sua posterior utilização.

**Tabela 3.5** - Estrutura organizada dos dados relativos aos consumos energéticos dos motores principais das misturadoras (Misturadora 0).

Misturadora	Data	Hora	E <sub>acumulada</sub> (kWh)	E (kWh)
0	01-02-2014	03:45	1287303	71
0	01-02-2014	04:00	1287386	83
0	01-02-2014	04:15	1287469	83
0	01-02-2014	04:30	1287553	84
...	...	...	...	...

Seguidamente, passou-se à organização dos dados relativos a tempos e passos das ordens de produção dos compostos, para cada mês do estudo. De forma a identificar cada processo de fabrico, isto é, cada corrida de produção de cada composto, foi construída uma rotina em VBA [16][17], que ao percorrer todos as linhas de dados atribui um identificador sequencial a cada corrida. Este identificador tem sempre o mesmo valor enquanto o composto não altera e/ou enquanto o número de *batches* produzidos de uma dada linha é inferior ao da seguinte. Quando o código do composto altera ou o número de *batches* produzidos da linha seguinte é inferior, o identificador é incrementado. Este identificador tem a forma: Mês\_nºcorrida, e por exemplo, o identificador “Fev\_5” corresponde à quinta corrida de produção de um composto do mês de fevereiro. A rotina construída permite ainda determinar, para cada linha de dados, a percentagem do progresso total do processo de produção de um determinado composto, sendo este valor calculado para cada linha da mesma corrida, fazendo o quociente entre o número de *batches* produzidos dessa linha, pelo total de *batches* produzidos na corrida em questão.

Para poder ser realizado o paralelismo entre os dados de consumos energéticos e os dados das ordens de produção foi primeiro necessário calibrar os instantes temporais destes últimos, pois os dos dados de consumos energéticos estavam bem delimitados em intervalos de 15 minutos para todos os dias. Este procedimento aplicou-se apenas à data e hora de arranque de cada *batch*. Assim, para qualquer instante de arranque entre os 0 e os 15 minutos da hora, fixaram-se os minutos nos 15; para qualquer instante de arranque entre os 15 e os 30 minutos da hora, fixaram os mesmos nos 30; para qualquer instante de arranque entre os 30 e os 45 minutos da hora, fixaram-se os mesmos nos 45; e finalmente, para qualquer instante de arranque entre os 45 e os 60 minutos da hora, fixaram-se os minutos no 0, e incrementou-se 1 hora. Em relação às datas, estas foram ajustadas consoante a alteração do instante de arranque, isto é, o dia foi incrementado se a alteração do instante de arranque obrigasse à incrementação do dia.

Na Tabela 3.6 é possível verificar um exemplo do resultado da execução da rotina em VBA responsável pelo identificador de corrida e progresso da mesma, assim como do resultado da calibração do instante de início.

**Tabela 3.6** - Estrutura organizada dos dados das ordens de produção (Misturadora 5, composto M1 base1).

<i>Mixer</i>	<i>Composto</i>	<i>Batch</i>	<i>Data batch_in</i>	<i>Hora batch_in</i>	<i>Duração (s)</i>	<i>Corrida</i>	<i>Progresso (%)</i>	<i>Data_batch</i>	<i>Hora_batch</i>
5	M1 base1	1	02-01-2014	07:07	224	Jan_6	2,00%	02-01-2014	07:15
5	M1 base1	2	02-01-2014	07:11	189	Jan_6	4,00%	02-01-2014	07:15
5	M1 base1	3	02-01-2014	07:14	187	Jan_6	6,00%	02-01-2014	07:15
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5	M1 base1	48	02-01-2014	09:40	178	Jan_6	96,00%	02-01-2014	09:45
5	M1 base1	49	02-01-2014	09:43	188	Jan_6	98,00%	02-01-2014	09:45
5	M1 base1	50	02-01-2014	09:46		Jan_6	100,00%	02-01-2014	10:00

Relativamente à estrutura anterior destes dados, é de salientar a eliminação da coluna correspondente à data e hora de chamada da ordem de produção do composto, assim como da coluna “Auto./Man.”. As colunas “Corrida” e “Progresso (%)” correspondem ao resultado da execução da rotina em VBA antes explicada, e as últimas duas colunas correspondem à calibração da data e hora de arranque do processo de produção da *batch* do composto a ser produzido, respetivamente.

Após o tratamento dos dados recolhidos, acima exposto, passou-se a uma fase mais importante desta secção, o procedimento adotado para executar o paralelismo entre os dados de consumos energéticos e os dados das ordens de produção dos compostos. Novamente, este foi feito separadamente para as diferentes misturadoras, para cada mês do estudo, uma vez que os dados dos consumos energéticos foram organizados desta forma.

Assim, este procedimento passou pela construção de uma nova rotina em VBA. A rotina pode ser explicada pelos seguintes passos: percorre todas as linhas de dados das ordens de produção dos compostos; enquanto em cada uma destas linhas, percorre todos os dados de consumos energéticos, verificando a igualdade entre os instantes temporais de cada conjunto de dados; quando é verificada esta igualdade, são atualizados na linha correspondente à verificação da mesma, nos dados de consumos energéticos, os dados das ordens de produção correspondentes; quando a verificação desta igualdade acontece para mais que uma linha de dados das ordens de produção, os valores a atualizar correspondem à última ocorrência da mesma; o processo repete-se continuamente até serem verificados todos os dados.

Na Tabela 3.7 é possível verificar um exemplo do resultado da execução desta rotina.

**Tabela 3.7** - Estrutura resultante do paralelismo entre os dados dos consumos energéticos e das ordens de produção dos compostos (Misturadora 0, composto FMF verao2).

Mixer	Data	Hora	E (kWh)	Composto	Nº batchs	Corrida	Progresso	Peso p/batch (kg)	E <sub>cons</sub> (kWh)	E (kWh/batch)	E (kWh/ton)
0	01-02-2014	08:00	75	FMF verao2	3	Fev_7	6,00%	256,825	75	25	97,343
0	01-02-2014	08:15	87	FMF verao2	8	Fev_7	16,00%	256,825	162	20,250	78,847
0	01-02-2014	08:30	90	FMF verao2	12	Fev_7	24,00%	256,825	252	21,000	81,768
0	01-02-2014	08:45	92	FMF verao2	17	Fev_7	34,00%	256,825	344	20,235	78,790
0	01-02-2014	09:00	98	FMF verao2	22	Fev_7	44,00%	256,825	442	20,091	78,228
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Foi construída ainda outra rotina para determinar a energia consumida em cada corrida de produção dos compostos. Esta rotina simplesmente determina para cada instante de 15 minutos (cada linha) de cada corrida, o valor consumido de energia desde o início da mesma até ao instante em questão. O resultado desta rotina de cálculo de energia corresponde à coluna “E<sub>cons</sub> (kWh)” da tabela acima.



Na estrutura apresentada na tabela anterior é importante realçar a existência da coluna “Peso *p/batch* (kg)”, que, tal como o cabeçalho da mesma indica, corresponde ao peso de cada *batch* do respetivo composto. Os valores presentes nesta coluna foram obtidos a partir da lista de compostos produzidos pela Continental Mabor, a qual não pode ser publicada nesta dissertação por motivos de confidencialidade.

As últimas duas colunas da Tabela 3.7 são o resultado mais importante desta fase, pois correspondem aos primeiros valores obtidos para consumos energéticos específicos do processo de produção dos compostos. O valor da energia consumida por *batch* de um dado composto foi obtido pelo quociente entre a energia consumida até um determinado instante, pelo número de *batches* produzidos até esse mesmo instante:

$$E \text{ (kWh/batch)} = \frac{E_{\text{cons}} \text{ (kWh)}}{N^{\circ} \text{ de batches}}, \quad (3.1)$$

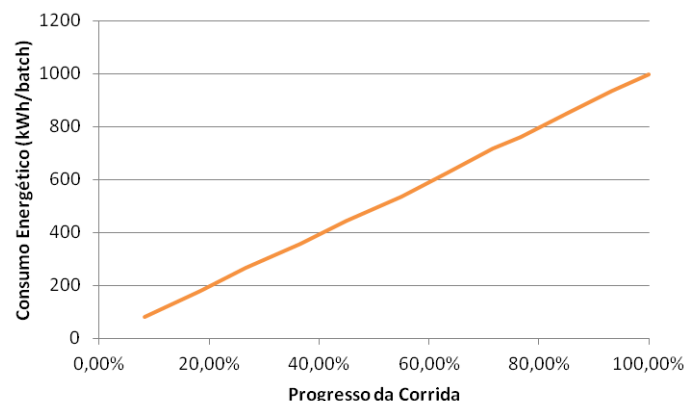
O valor da energia consumida para produzir uma tonelada de um dado composto, presente na última coluna, foi determinado tendo em conta o peso por *batch* desse composto, através da simples expressão:

$$E \text{ (kWh/ton)} = \frac{1000 \times E \text{ (kWh/batch)}}{\text{Peso } p/\text{batch} \text{ (kg)}}, \quad (3.2)$$

### 3.3 - Análise dos Consumos Energéticos

Após a precedente determinação do consumo energético para produzir um *batch* e/ou uma tonelada de cada composto nas diferentes misturadoras, nos respetivos intervalos de 15 minutos de contagem de energia, foi necessário determinar um valor específico destes consumos energéticos, para cada composto, no geral, e em cada uma das misturadoras que pode ser fabricado.

Assim, o procedimento adotado para analisar estes consumos passou por contruir uma curva característica de consumo energético geral e uma por cada misturadora para todos compostos. O primeiro passo deste procedimento consistiu na junção de todos os dados anteriormente processados e organizados, relativos aos três meses estudados para todas as misturadoras, construindo um ficheiro base.



**Figura 3.11** - Exemplo da Evolução do Consumo Energético no processo de fabrico de um composto (FMF verao26, Misturadora 3).

Depois de se observar que a evolução do consumo energético nas diferentes corridas de produção de cada composto tinha um comportamento linear, tal como é possível verificar no gráfico da

Figura 3.11, construiu-se uma nova rotina em VBA [18], que a partir do ficheiro base efetua uma regressão linear com os valores do consumo energético por *batch*, para cada corrida de cada composto, nas diferentes misturadoras. Com esta regressão linear obtém-se um valor menos erróneo do consumo energético por *batch*, do que, por exemplo, se fosse feita uma média aritmética entre os valores de consumos dos intervalos de cada corrida. Desta forma, o resultado obtido pela execução da rotina responsável por calcular a regressão linear para cada corrida de cada composto, resultou num declive de uma reta que corresponde ao consumo energético por *batch*, e um valor constante (ordenada na origem), que corresponderia a um consumo em vazio do motor principal das misturadoras, mas como num intervalo de 15 minutos a contagem de energia pode incluir o fim do processo de fabrico um composto e o início de outro, este valor constante teve de ser ignorado. Na Tabela 3.8 é apresentado um exemplo da execução desta rotina.

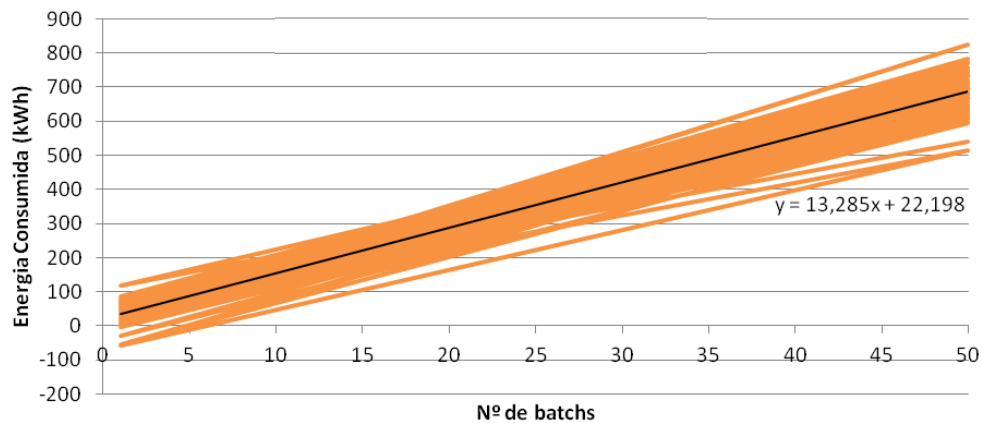
**Tabela 3.8** - Estrutura resultante da execução da rotina que determina o consumo energético por *batch* de cada corrida de cada composto (Misturadora 0, composto F1 componente7).

<i>Mixer</i>	<i>Composto</i>	<i>Corrida</i>	<i>m</i>	<i>b</i>
0	F1 componente7	Jan_702	13,58703777	39,37065606
0	F1 componente7	Jan_848	13,65495463	13,99928838
0	F1 componente7	Jan_1011	13,38168317	36,91782178
0	F1 componente7	Jan_1745	12,80488429	-16,26627623
0	F1 componente7	Fev_296	13,84123223	-5,263033175
0	F1 componente7	Fev_632	13,19890216	53,26832418

Com base nestes resultados foi então possível contruir as curvas de consumo energético de cada corrida. A construção destas curvas passou pela definição de um valor mínimo e de um valor máximo para o número de *batches* de cada composto produzidos, que foram 1 e 50, respetivamente. Utilizando estes dois valores, e a equação da reta obtida anteriormente, determinou-se para cada corrida de cada composto a respetiva curva de consumo. Através da média do declive de todas as curvas de consumo das corridas de cada composto e da média dos valores das respetivas ordenadas na origem, determinou-se a curva característica de consumo energético de cada composto, correspondendo o declive desta ao consumo médio específico do fabrico de um *batch* do respetivo composto.

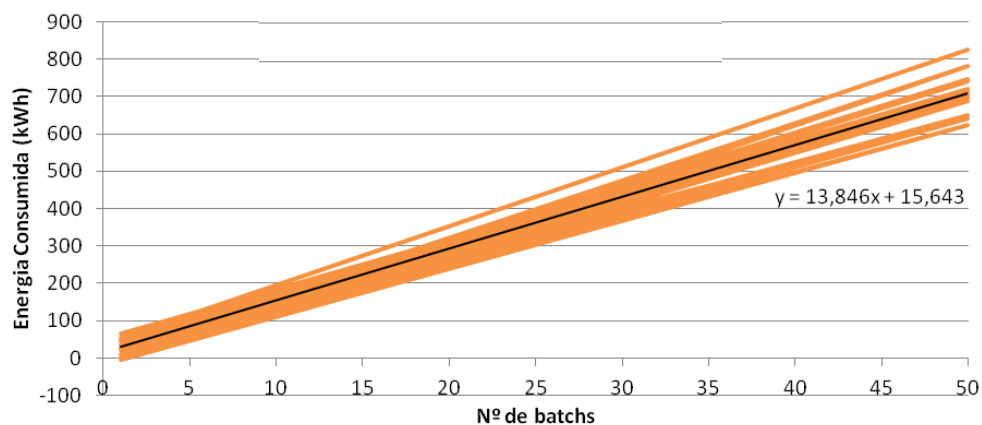
Esta curva característica e respetivo consumo específico foram determinados para cada composto em geral, isto é, considerando as corridas realizadas em todas as misturadoras disponíveis, tal como é exemplificado na Figura 3.12. Nesta figura, a mancha de retas a laranja corresponde às curvas de consumo de todas as corridas do dado composto, e a reta a

preto, e respetiva equação, corresponde à curva característica de consumo energético do mesmo composto.



**Figura 3.12** - Gráfico da Curva Característica do Consumo Energético por *batch* do composto F1 componente7 (geral).

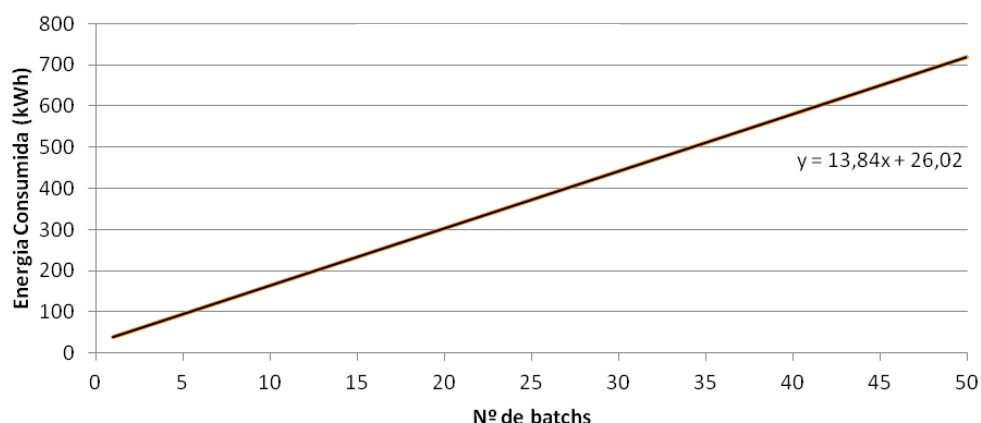
Não obstante, também foi determinada a curva característica de consumo energético de todos os compostos para cada misturadora, de maneira a se poder distinguir as misturadoras que consomem menos energia, entre as disponíveis para produzir cada composto. Na Figura 3.13, abaixo, é possível observar as diferentes curvas de consumo do presente composto na Misturadora 0, assim como a respetiva curva característica de consumo energético.



**Figura 3.13** - Gráfico da Curva Característica do Consumo Energético por *batch* do composto F1 componente7, na Misturadora 0.

É importante referir, que ao longo desta análise foram encontrados compostos que os resultados obtidos para os consumos específicos dos mesmos correspondem, por exemplo, a médias entre um ou duas curvas de consumo, o que torna estes resultados pouco fiáveis. Isto justifica-se pelo facto, de nos três meses a que estudo da presente dissertação se aplicou, o número de corridas realizadas para esses compostos foi muito baixo, ou porque os valores de consumo energético dos motores principais das respetivas misturadoras conduziram a dados inconsistentes, que obrigaram à sua exclusão. Este processo de tratamento de dados

inconsistentes será explicado posteriormente. Contudo, estes resultados menos fiáveis não foram excluídos do estudo, uma vez que o valor do consumo específico não é discrepante em relação aos outros compostos. A Figura 3.14 serve de exemplo de um destes compostos com consumo específico menos fiável, que neste caso, o valor foi determinado a partir de uma única corrida efetuada ao longo dos três meses.



**Figura 3.14** - Gráfico da Curva Característica do Consumo Energético por *batch* do composto FMF verao15, na Misturadora 1.

Finalmente, após a determinação das curvas características de consumo energético de todos os compostos, foram construídas tabelas dinâmicas, para cada misturadora e para o conjunto das mesmas, com os valores dos consumos específicos de cada composto, por produção de um *batch*, e por produção de uma tonelada do mesmo, através da expressão 3.2, acima descrita.

Com isto, concretizou-se um dos objetivos principais desta dissertação, isto é, a caracterização energética do consumo associado ao processo de produção dos compostos. No próximo capítulo serão apresentados os resultados obtidos com esta análise.

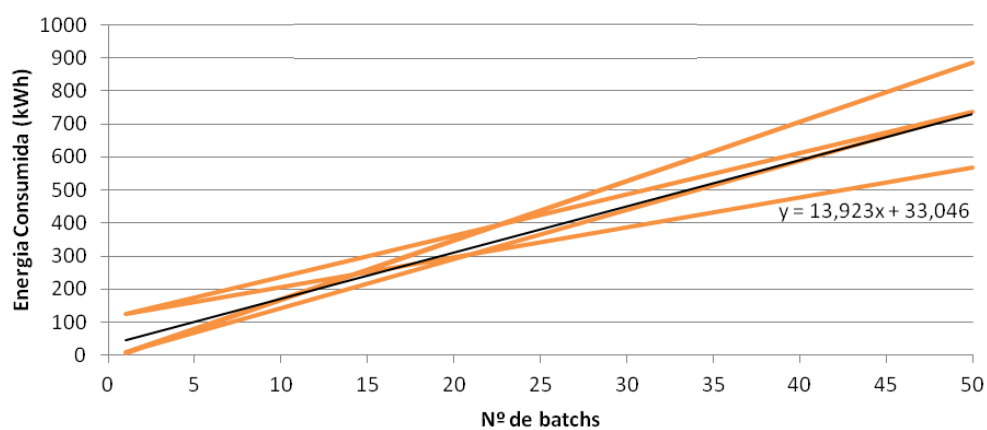
### 3.4 - Tratamento de Dados Inconsistentes

Durante qualquer processo de recolha, organização e processamento de dados é normal serem encontrados valores que se destacam em relação ao conjunto todo, pois estes podem ser muito discrepantes ou sem sentido [19]. O processamento de dados exposto nas secções anteriores deste capítulo não foi exceção.

Os dados inconsistentes, também conhecidos por *outliers*, foram maioritariamente detetados na fase de construção das curvas de consumo energético das diferentes corridas do processo de produção dos demais compostos. Estes dados, correspondentes a corridas completas de alguns compostos em algumas misturadoras, foram considerados inconsistentes porque a curva de consumo construída com os mesmos, apresentava-se muito distante, acima ou abaixo, da mancha de curvas para cada composto.

Estas corridas com dados inconsistentes são resultado de processos de fabrico muito curtos (com número de *batches* muito reduzido), uma vez que se a corrida completa de um composto ocorrer num intervalo de tempo inferior a 15 minutos ou se durar um intervalo de 15 minutos mais uma parte do próximo, o procedimento de paralelismo entre os dados de consumos energéticos e dados de ordens de produção não é capaz de distinguir estas corridas, sobrepondo as mesmas, ou parte delas, pela corrida seguinte. Desta forma a medição de consumo de energia destas corridas não coincide com o consumo realmente verificado para o processo de produção correspondente. Outra razão para a existência destes dados está diretamente relacionada com falhas das centrais de medida dos consumos energéticos dos motores principais das misturadoras.

A consideração destes dados incoerentes nos resultados finais teria como consequência valores para consumos específicos e curvas características de consumo de alguns compostos menos credíveis, pelo que o processo de tratamento dos mesmos passou pela eliminação por inspeção visual das corridas correspondentes [21][22]. A eliminação das corridas foi feita após observação dos gráficos de curvas de consumo construídos com todas as corridas de cada composto produzido em cada misturadora, onde foram facilmente identificadas as curvas correspondentes a corridas de *outliers*, e posteriormente eliminadas. Este processo foi repetido até haver mais corridas contaminantes [22]. Contudo, esta eliminação não foi aplicada a todos os compostos que apresentassem curvas mais afastadas, pois houve compostos cuja curva característica de consumo energético foi obtida a partir de um pequeno número de curvas de consumo de corridas que se apresentavam afastadas umas das outras, não constituindo uma mancha de curvas bem identificável, não sendo possível identificar quais as curvas correspondentes a dados inconsistentes. Um exemplo destes compostos foi o FMF verao1, na Misturadora 0.



**Figura 3.15** - Gráfico da Curva Característica do Consumo Energético por *batch* do composto FMF verao1, na Misturadora 0.

Para quantificar a presença de dados inconsistentes é seguidamente apresentada uma lista correspondente a todas as corridas eliminadas, por misturadora, durante o procedimento anteriormente explicado.

Corridas Eliminadas:

- Misturadora 0: Jan\_1434, Jan\_1570, Fev\_1330 e Fev\_1120 (total de 4 corridas);
- Misturadora 1: Fev\_718, Mar\_406, Mar\_476, Mar\_869 e Mar\_1254 (total de 5 corridas);
- Misturadora 3: Jan\_17, Jan\_571, Jan\_765, Jan\_1026, Jan\_1599 e Fev\_299 (total de 6 corridas);
- Misturadora 4: Fev\_1121 e Mar\_693 (total de 2 corridas);
- Misturadora 5: Jan\_267, Jan\_1347, Jan\_1424, Fev\_736, Fev\_935, Fev\_1133, Fev\_1434, Fev\_1810, Mar\_297, Mar\_724, Mar\_911, Mar\_1238 e Mar\_1487 (total de 13 corridas);
- Misturadora 6: Mar\_1015 (total de 1 corrida);
- Misturadora 7: Jan\_1170, Fev\_306, Fev\_338, Fev\_425, Fev\_447, Fev\_574, Fev\_740, Fev\_834, Fev\_849, Fev\_990, Fev\_1024, Fev\_1110, Fev\_1165, Fev\_1371, Fev\_1391, Fev\_1503, Fev\_1539, Fev\_1602, Fev\_1609, Fev\_1622, Fev\_1665, Fev\_1678 e Fev\_2000 (total de 23 corridas).

## Capítulo 4

# Caracterização Energética dos Processos na Área da Misturação

No presente capítulo serão apresentados os resultados importantes decorrentes dos procedimentos explicados no capítulo precedente. Todos os resultados obtidos correspondem à concretização dos objetivos inicialmente definidos, nomeadamente a caracterização de consumos específicos e curvas características de consumo energético, relativos ao processo de produção dos compostos, assim como a definição de indicadores de desempenho com base nos consumos específicos de energia para cada composto, mas não só.

Para além de resultados, em todas as secções, será exposta a metodologia seguida para determinar os mesmos.

Na primeira secção, de maneira a corresponder ao capítulo anterior, serão demonstrados os resultados obtidos para a misturadora mais utilizada na produção de cada composto.

Seguidamente será feita uma análise da caracterização energética dos processos de produção de cada misturadora, quanto a consumos e quanto a custos, independentemente do composto a produzir.

Nas duas secções seguintes, serão apresentados os resultados mais pertinentes para o estudo da presente dissertação, que correspondem à caracterização energética do processo de produção de cada composto, em média e por misturadora. A primeira destas duas secções diz respeito a consumos energéticos, enquanto a segunda diz respeito a custos.

Posteriormente, e a partir dos resultados relativos à caracterização dos consumos energéticos do processo de produção de cada composto, será explorada uma secção correspondente aos indicadores de consumo, ou de desempenho, definidos para cada composto, no geral e por misturadora.

É importante referir que nestas primeiras secções os resultados apresentados corresponderão apenas a um composto de cada tipo, para todas as fases, e ainda haverá a comparação de um composto produzido na misturadora *tandem* (Misturadora 9) com o mesmo

composto produzido por fases em duas misturadoras específicas. Os compostos a utilizar nos resultados de todas as secções deste capítulo serão sempre os mesmos. A escolha destes compostos foi feita com base na quantidade de corridas efetuadas ao longo do período de estudo (não considerando *outliers*), ou seja, os compostos com um maior número de corridas estão associados a resultados mais fiáveis para os mesmos. No entanto, não quer isto dizer que só os compostos escolhidos correspondem aos resultados credíveis deste estudo, pois os compostos com grande número de corridas são quase todos os analisados, excluindo alguns casos, e para exemplificar os resultados obtidos foi necessário escolher apenas alguns destes compostos.

Finalmente, na última secção deste capítulo serão expostas algumas variáveis de causalidade que podem justificar a variação do consumo energético entre corridas do mesmo composto, e até na mesma misturadora.

#### 4.1 - Identificação da Misturadora mais utilizada no fabrico de cada Composto

Com base no procedimento apresentado no capítulo anterior, na secção correspondente (3.2), foi possível determinar qual a misturadora mais utilizada para produzir cada composto (todas as fases). Este procedimento, juntamente com a posterior determinação do consumo energético específico do processo de produção de cada composto em cada misturadora, tornaram possível a comparação presente na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** - Identificação da misturadora mais utilizada no processo de fabrico de cada composto *versus* misturadora mais eficiente para o mesmo processo.

Composto	Misturadora mais Utilizada				Misturadora mais Eficiente
	janeiro	fevereiro	março	Média	
M1 base2	5	5	5	5	5
R1 base2	5	5	5	5	4
FMF base2	0	1	0	0	1
M1 componente10	2	2	2	2	2
M2 componente10	2	2	2	2	2
R1 componente10	6	6	7	6	4
FMF componente10	1	1	1	1	1
M1 componente13	2	2	-	2	2
FMF componente13	0	0	0	0	0
FMO componente13.1	9	9	9	9	9
M1 verao26	6	6	6	6	6
R1 verao26	6	6	6	6	6
FMF verao26	0	0	0	0	1
workoff1	4	4	4	4	4



A partir da tabela anterior verifica-se então a comparação entre a misturadora que mais foi utilizada para produzir os compostos listados, e a misturadora que, entre as possíveis, consome menos energia para produzir os mesmos compostos.

Sabendo que muitos dos compostos podem ser produzidos em mais do que uma misturadora, os resultados obtidos nesta fase do estudo mostraram-se muito importantes para compreender que existem compostos que são produzidos na maioria das vezes numa misturadora que não coincide com a misturadora energeticamente mais eficiente, isto é, a misturadora que consome menos energia para produzir um *batch* desses compostos. É de realçar, que na tabela anterior os compostos que não verificam a comparação, está destacada a vermelho a misturadora que deveria ser mais utilizada, na última coluna, com o objetivo de reduzir os consumos energéticos.

No capítulo de Anexos deste documento é possível consultar desde a Tabela A.1.1 até a Tabela A.1.4, que incluem os resultados obtidos nesta fase para todos os compostos analisados no estudo da presente dissertação.

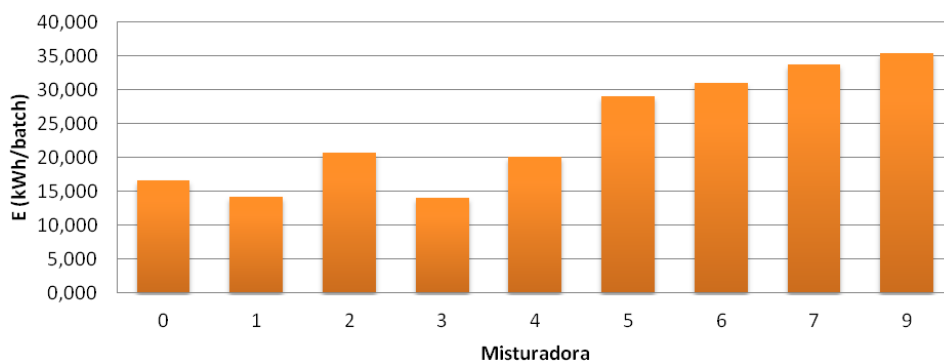
## 4.2 - Caracterização do Consumo/Custo Energético das Misturadoras

Após determinação dos valores de consumo energético específico do processo de produção de cada composto por misturadora, através da utilização de tabelas dinâmicas, utilizaram-se as mesmas, eliminando o campo respetivo ao composto, e especificaram-se os consumos médios do motor principal de cada misturadora, correspondentes a produzir um *batch* e a produzir uma tonelada, de um composto aleatório. Na Tabela 4.2 é possível constatar estes resultados, correspondendo a segunda coluna ao consumo médio por *batch* de um qualquer composto, e a última coluna ao consumo médio por tonelada desse composto, para cada misturadora.

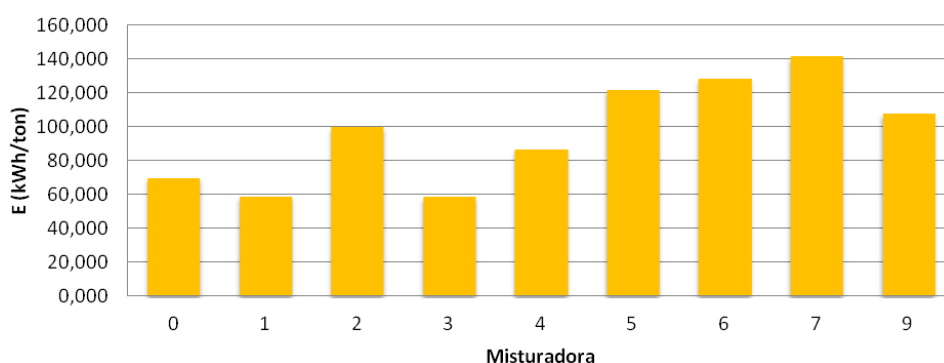
**Tabela 4.2** - Consumos Energéticos Médios de cada Misturadora, por *batch* e por tonelada.

Misturadora	kWh/ <i>batch</i>	kWh/ton
0	16,683	70,062
1	14,196	59,164
2	20,733	100,159
3	14,043	58,770
4	20,125	87,008
5	28,982	121,811
6	31,088	128,788
7	33,774	141,633
9	35,333	107,941

De maneira a que estes resultados sejam imediatamente perceptíveis, foram construídos os gráficos de colunas apresentados nas figuras seguintes. O primeiro gráfico corresponde ao consumo energético médio por *batch*, de cada misturadora, e o segundo corresponde ao consumo energético por tonelada.



**Figura 4.1** - Gráfico do Consumo Energético Médio de cada Misturadora para produzir um *batch* de um composto aleatório.



**Figura 4.2** - Gráfico do Consumo Energético Médio de cada Misturadora para produzir uma tonelada de um composto aleatório.

Em relação aos gráficos anteriores, entre as três misturadoras utilizadas para produzir especificamente os compostos na fase *Final Mix* (misturadoras 0, 1 e 3), verifica-se que as misturadoras 1 e 3 são energeticamente mais eficientes em relação à Misturadora 0. Sabendo que estas três misturadoras produzem aproximadamente o mesmo número de compostos, e de todos os tipos, a partir deste resultado é possível afirmar que se houver disponibilidade de alocar um composto produzido na maioria das vezes na Misturadora 0, para umas das misturadoras 1 ou 3, haverá redução do consumo energético global.

Relativamente às misturadoras que produzem compostos nas fases *Master Batch* e *Remill*, o consumo da Misturadora 2 é ligeiramente inferior, uma vez que nesta misturadora é fabricado um pequeno número de compostos e apenas do tipo de componentes do pneu que, por sua vez, consomem menos energia do que, por exemplo, os compostos de pisos. A Misturadora 5 apresenta um consumo médio por *batch*, e por tonelada, inferior ao das

misturadoras 6 e 7. Isto verifica-se porque, apesar dos motores principais destas três terem características técnicas iguais (Tabela 2.1), nesta são produzidos todos os tipos de compostos, enquanto que nas misturadoras 6 e 7 são produzidos apenas compostos de tipos Base e Pisos de Verão e Inverno, que consomem mais energia, justificando assim o valor superior do consumo energético destas. O consumo da Misturadora 7, por *batch* e por tonelada, é ainda superior ao da 6, no entanto, este facto não se justifica pelos compostos produzidos, pois ambas produzem aproximadamente a mesma quantidade e os mesmos tipos, mas sim por necessidade de manutenção. A informação relativa a esta justificação foi recolhida junto dos operadores do setor da Misturação, que identificaram alguns problemas na Misturadora 7 durante o período de estudo desta dissertação, como é o caso do encravamento da porta de descarga do composto.

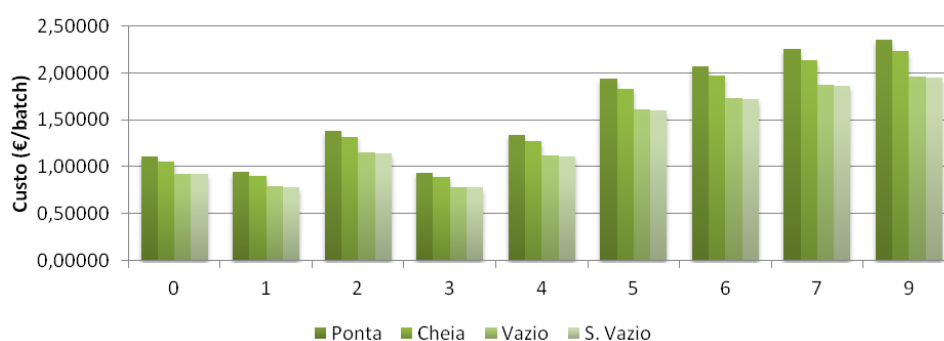
A Misturadora 9 apresenta um consumo médio por *batch* superior a todas as misturadoras, uma vez que este valor corresponde à soma dos consumos verificados nos motores superior e inferior, passando o processo de produção de um composto pela fase de mistura inicial até à fase final, o que implica mais tempo para produzir um *batch*, que tem como consequência o valor superior de consumo energético. Contudo, este valor é superior quando comparado com um *batch* de uma única fase de um composto produzido noutra misturadora, pois se for comparado com o consumo acumulado de um *batch* das diferentes fases desse composto é inferior, dado que os compostos produzidos na Misturadora 9 necessitam apenas de uma única fase de produção para serem concluídos. No que concerne ao consumo energético por tonelada da Misturadora 9, este é inferior porque o peso por *batch* dos compostos produzidos nesta é consideravelmente superior ao dos outros compostos, pois, uma vez mais, correspondem a uma única fase de produção. Logo, para atingir uma tonelada destes compostos são necessários menos *batches*, em comparação com os compostos produzidos nas outras misturadoras.

Tendo por base as tarifas de eletricidade aplicadas à Continental Mabor no primeiro trimestre do presente ano, para os quatro períodos tarifários, e utilizando a média das mesmas, foi possível quantificar os custos associados aos consumos médios acima referidos. Assim, para cada misturadora, determinaram-se os custos energéticos associados ao processo de produção de um *batch*, e de uma tonelada de um composto aleatório.

Na tabela seguinte é apresentado o custo de produção de um *batch* de um composto aleatório, em cada uma das misturadoras, para os quatro períodos tarifários: Ponta, Cheia, Vazio e Supervazio. A figura subsequente à Tabela 4.3 contém uma representação gráfica da mesma tabela, e como era de esperar o comportamento das colunas de cada misturadora é o mesmo das do gráfico da Figura 4.1, que corresponde ao consumo energético médio por *batch*.

**Tabela 4.3** - Custo Energético Médio (€/batch) de cada período tarifário para produzir um batch de um composto aleatório em cada misturadora.

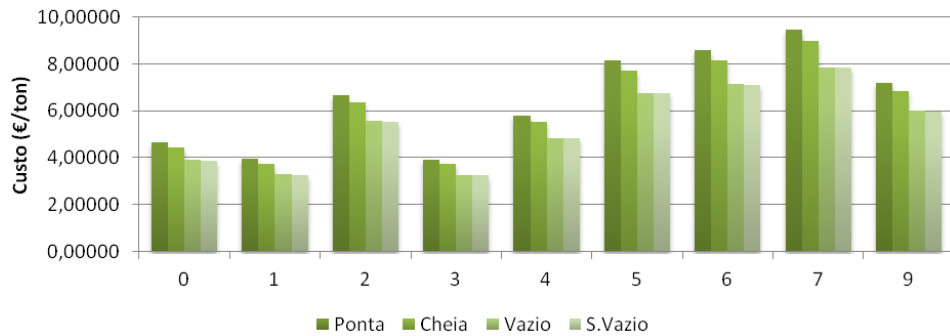
€/batch	Período			
Misturadora	Ponta	Cheia	Vazio	S. Vazio
0	1,11306	1,05550	0,92621	0,92204
1	0,94710	0,89813	0,78811	0,78456
2	1,38324	1,31171	1,15103	1,14584
3	0,93692	0,88848	0,77964	0,77613
4	1,34267	1,27324	1,11727	1,11224
5	1,93359	1,83360	1,60899	1,60174
6	2,07410	1,96685	1,72591	1,71814
7	2,25329	2,13677	1,87502	1,86658
9	2,35729	2,23539	1,96156	1,95273

**Figura 4.3** - Gráfico do Custo Energético Médio (€/batch) de cada período tarifário para produzir uma batch de um composto aleatório em cada misturadora.

Tal como foi feito para os consumos energéticos, foram também analisados os custos energéticos médios para produzir uma tonelada de um composto aleatório em cada misturadora, para os quatro períodos tarifários distintos. Na Tabela 4.4 e na Figura 4.4 que se seguem estão presentes os valores obtidos para estes custos e a sua representação gráfica, respetivamente.

**Tabela 4.4** - Custo Energético Médio (€/ton) de cada período tarifário para produzir uma tonelada de um composto aleatório em cada misturadora.

€/ton	Período			
Misturadora	Ponta	Cheia	Vazio	S.Vazio
0	4,67431	4,43260	3,88962	3,87210
1	3,94723	3,74311	3,28459	3,26980
2	6,68230	6,33675	5,56051	5,53547
3	3,92094	3,71818	3,26272	3,24802
4	5,80486	5,50468	4,83038	4,80862
5	8,12683	7,70658	6,76255	6,73209
6	8,59235	8,14803	7,14992	7,11772
7	9,44931	8,96068	7,86302	7,82761
9	7,20148	6,82908	5,99254	5,96556



**Figura 4.4** - Gráfico do Custo Energético Médio (€/ton) de cada período tarifário para produzir uma tonelada de um composto aleatório em cada misturadora.

Os resultados destes custos energéticos aqui demonstrados, principalmente os custos por *batch*, revelaram-se importantes para quantificar os custos totais das ordens de produção de compostos analisadas, e, conseqüentemente, para quantificar as poupanças decorrentes da posterior gestão energética das mesmas ordens de produção. Assim é possível perceber quanto se pode poupar com a alocação do processo de produção de um dado composto de uma misturadora para outra mais eficiente, ou mesmo, alocando o processo para um período tarifário mais barato, na mesma misturadora. Todavia, as ordens de produção de compostos analisadas quanto ao custo total e a respetiva gestão energética constituem parte dos conteúdos explorados no próximo capítulo deste documento.

## 4.3 - Caracterização do Consumo Energético dos Compostos

Nesta secção deste capítulo serão apresentados os resultados obtidos para os consumos de energia específicos para o processo de produção dos demais compostos, independentemente da misturadora em que são produzidos e, também, o consumo específico dos mesmos compostos por misturadora, que serão expostos, respetivamente, em duas subsecções distintas.

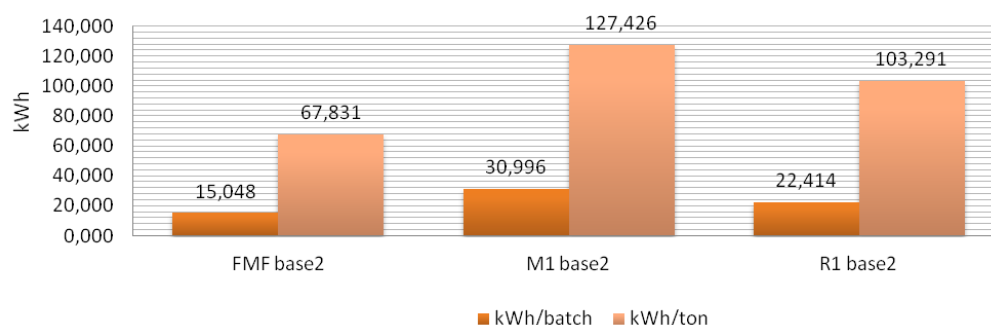
### 4.3.1 - Consumo Específico Médio

Partindo do declive da Curva Característica de Consumo Energético Médio (independente da misturadora) de cada composto, obtido pela média das regressões lineares de todas as corridas efetuadas ao longo dos meses de estudo, determinaram-se, através de tabelas dinâmicas, os valores do Consumo Específico Médio para cada composto, tal como tinha sido explicado anteriormente. E com os valores destes consumos por *batch*, calcularam-se os valores por tonelada de cada composto, que também foram organizados nas mesmas tabelas.

Desta forma, construíram-se, para cada composto analisado, gráficos de colunas representativos destes consumos, para que fosse possível comparar os mesmos, entre tipos de

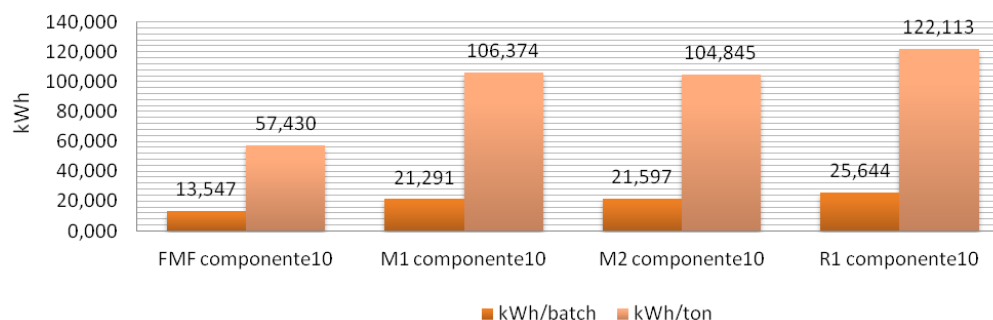
compostos e fases do mesmo composto final, por inspeção visual. Seguidamente são apresentados os resultados obtidos para os mesmos compostos analisados ao longo do presente capítulo.

O composto de tipo Base escolhido foi o base2, e no gráfico da figura seguinte é possível constatar o Consumo Específico Médio para produzir um *batch* e uma tonelada dos compostos correspondentes às fases de processo completo de fabrico do mesmo. Pela observação da Figura 4.5 verifica-se que o composto M1 base2, a primeira fase de misturação, apresenta o consumo energético mais elevado entre as três fases, pois este consumo corresponde à misturação inicial das matérias-primas em estado bruto, o que implica um maior esforço energético por parte do motor principal das misturadoras. O processo de produção do composto FMF base2, a fase de conclusão do composto, consome menos energia, porque todos os componentes já estão misturados e remisturados (composto R1 base2) formando uma mistura homogênea que carece de menor esforço por parte do motor.



**Figura 4.5** - Gráfico do Consumo Energético Médio, por *batch* e por tonelada, dos compostos FMF base2, M1 base2 e R1 base2.

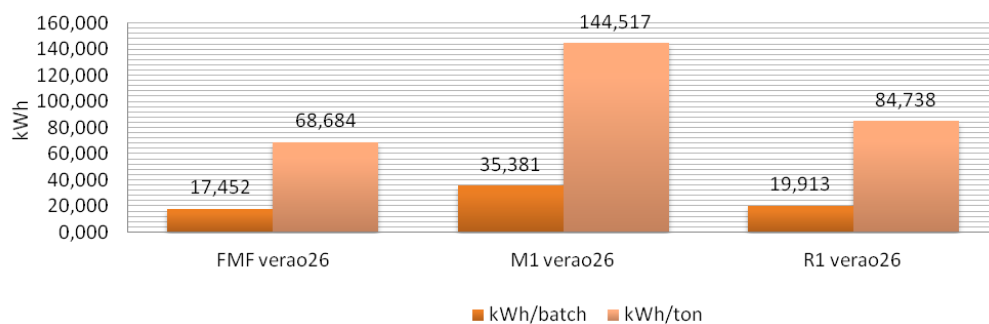
Os resultados para o Consumo Específico Médio do composto componente10, do tipo Componentes do Pneu, são apresentados no gráfico da Figura 4.6.



**Figura 4.6** - Gráfico do Consumo Energético Médio, por *batch* e por tonelada, dos compostos FMF componente 10, M1 componente10, M2 componente10 e R1 componente 10.

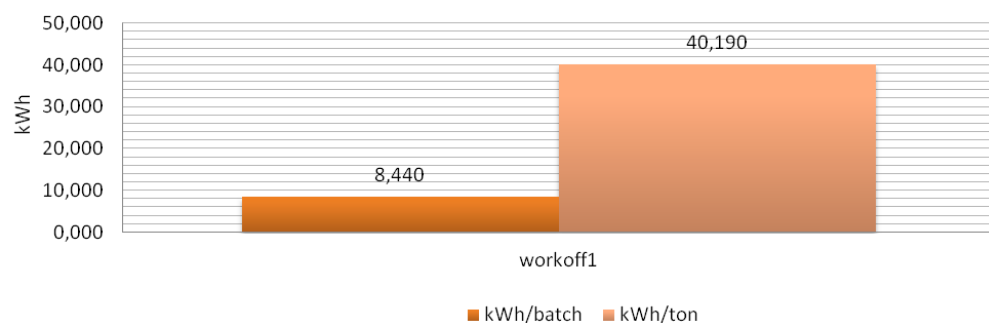
Por observação do gráfico da Figura 4.6, e dos respetivos valores de consumos, constata-se que o composto correspondente à fase de conclusão, FMF componente10, apresenta o consumo mais baixo, como seria de esperar. Depois, entre as duas fases iniciais de

misturação, verifica-se um aumento do consumo de energia por *batch* e uma diminuição do consumo por tonelada, uma vez que o peso por *batch* do composto M2 componente10 é ligeiramente superior ao do composto M1 componente10. É importante referir que estes dois compostos, relativos às duas fases de misturação, foram produzidos exclusivamente na Misturadora 2. Relativamente ao consumo do composto da fase de remisturação, R1 componente10, era de esperar que este apresentasse um valor inferior ao das fases iniciais de misturação, mas isto não se verifica uma vez que este composto é produzido em misturadoras diferentes da que esses dois compostos foram produzidos, sendo estas energeticamente menos eficientes. Sendo possível produzir o composto R1 componente10 na Misturadora 2, poderia ser verificada uma redução do valor do Consumo Específico Médio deste.



**Figura 4.7** - Gráfico do Consumo Energético Médio, por *batch* e por tonelada, dos compostos FMF verao26, M1 verao26 e R1 verao26.

Na Figura 4.7 é apresentado o gráfico do Consumo Energético Específico Médio dos compostos correspondentes às fases de fabrico do composto verao26, do tipo de Pisos de Verão. As variações dos valores verificados são as esperadas, uma vez que o composto da fase inicial de misturação apresenta o valor mais elevado, depois apresenta-se com um consumo inferior o composto R1 verao26, correspondente à fase de remisturação, e finalmente com o valor mais baixo, o composto de conclusão FMF verao26.

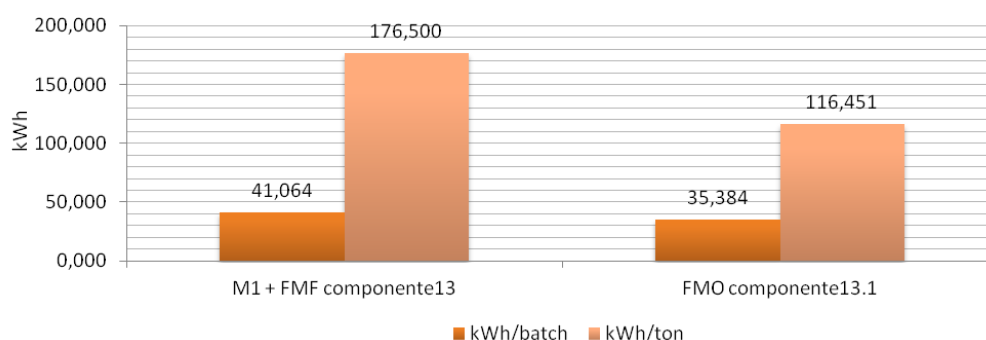


**Figura 4.8** - Gráfico do Consumo Energético Médio, por *batch* e por tonelada, do composto workoff1.

Para representar os compostos do tipo *Workoff*, foi escolhido o workoff1, e os consumos por *batch* e por tonelada do mesmo são apresentados no gráfico da Figura 4.8. O valor dos

consumos deste tipo de compostos é significativamente inferior ao dos outros tipos de compostos, pois também foram encontrados valores idênticos para o outro composto *Workoff* analisado.

Apesar de já ter sido analisado um composto do tipo de Componentes do Pneu, foi feita a comparação dos consumos entre o composto componente13 e o componente13.1, em que o processo de produção completo do primeiro corresponde a dois compostos (duas fases), e o segundo é concluído em apenas uma fase, na Misturadora 9. Estes compostos quando concluídos são o mesmo, e apenas diferenciam-se pelo processo de produção. Assim, por observação do gráfico da Figura 4.9 verificou-se que este composto, produzido em duas fases, ou seja, os compostos M1 componente13 e FMF componente13, consome mais energia do que quando produzido pelo processo *tandem* correspondente ao composto FMO componente13.1. Esta situação verificou-se também para os outros compostos com as mesmas características de produção: componente8 e componente8.1; componente11 e componente11.1; componente12 e componente12.1.



**Figura 4.9** - Gráfico de comparação do Consumo Energético Médio, por *batch* e por tonelada, da junção dos compostos M1 componente13 e FMF componente13, à esquerda, com o composto FMO componente13.1, à direita.

Por conseguinte, ao analisar os resultados do Consumo Energético Específico Médio para todos os compostos aferiu-se que os compostos correspondentes a fases finais apresentam valores de consumo por *batch* entre, aproximadamente, os 13 kWh e os 19kWh, para todos os tipos de compostos, e por tonelada entre, aproximadamente 50 kWh e 79 kWh. Em relação aos compostos correspondentes às fases *Master Batch*, os valores obtidos para os consumos foram muito variados, e distinguiram-se por tipos de compostos, tendo os compostos do tipo Base e do tipo Componentes do Pneu valores inferiores aos compostos do tipo Pisos.

A partir destas conclusões construiu-se uma tabela com os respetivos valores do Consumo Energético Específico Médio de todos os compostos, por *batch* e por tonelada, onde se atribuiu uma classificação ao valor dos consumos de cada composto, com base no código de cores apresentado na Tabela 4.5.



**Tabela 4.5** - Classificação do Consumo Energético Específico Médio do processo de produção dos compostos.

E (kWh/ <i>batch</i> )		E (kWh/ton)		Consumo
De	Até	De	Até	
0,00	20,00	0,00	80,00	Normal
20,00	40,00	80,00	160,00	Elevado
40,00	50,00	160,00	190,00	Muito Elevado

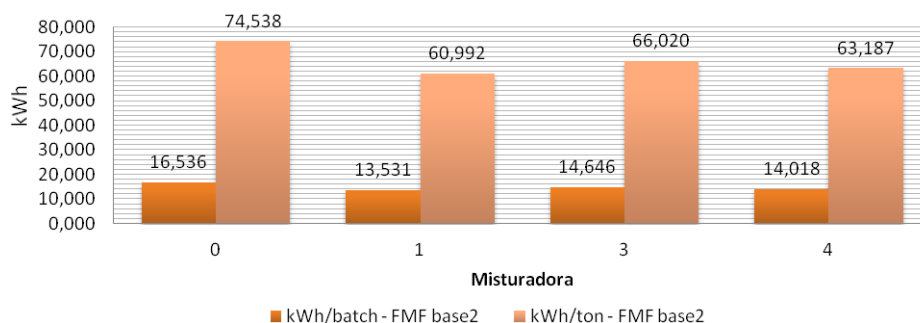
A tabela resultante (Tabela A.2.1 até Tabela A.2.4), pode ser consultada na secção A do capítulo de Anexos deste documento. Esta tabela foi construída com o objetivo de servir de ferramenta auxiliar aos Supervisores do setor da Misturação, que são os responsáveis pela organização das ordens de produção dos compostos. Desta forma, recorrendo a esta tabela é possível ter uma noção de quais os compostos que consomem mais ou menos energia, podendo alocar a sua produção para um período que corresponda a uma redução de custos de produção.

#### 4.3.2 - Consumo Específico por Misturadora

A maioria dos compostos analisados no estudo da presente dissertação podem ser produzidos em mais que uma misturadora, tendo cada um deles uma lista pré-definida de quais as misturadoras que podem ser utilizadas. Assim, após a determinação do Consumo Específico Médio para cada composto, foi necessário identificar os mesmos o Consumo Energético Específico por cada misturadora, também por *batch* e por tonelada, de maneira a poder identificar qual a mais eficiente para produzir cada um dos compostos estudados.

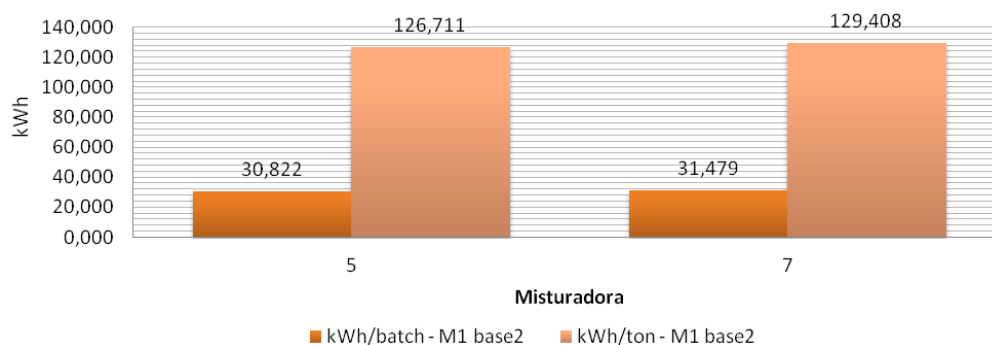
Em relação ao composto FMF base2, a fase *Final Mix* do composto do tipo Base escolhido, verifica-se, por observação do gráfico da Figura 4.10 abaixo, que entre as misturadoras específicas para produzir compostos nesta fase final a mais eficiente é a Misturadora 0, seguida pela Misturadora 4, depois a 3, e por último a menos eficiente Misturadora 0. Uma das razões que justifica que a Misturadora 1 seja mais eficiente em relação às outras é porque o ano de fabrico do motor principal desta é bem mais recente (2012).

## 58 Caracterização Energética dos Processos na Área da Misturação



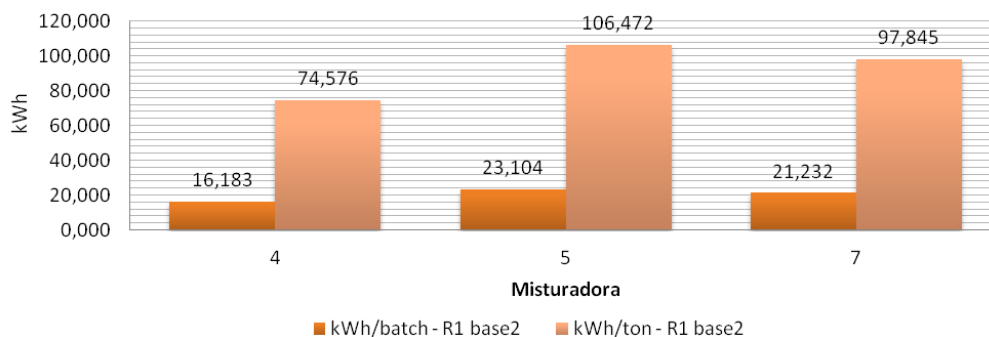
**Figura 4.10** - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por *batch* e por tonelada, do composto FMF base2.

Durante o período de estudo as corridas de produção do composto M1 base2 foram realizadas entre as misturadoras 5 e 7. Os valores obtidos para o Consumo Específico por misturadora são pouco discrepantes entre as duas, no entanto a Misturadora 5 mostrou-se ligeiramente mais eficiente para produzir este composto.



**Figura 4.11** - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por *batch* e por tonelada, do composto M1 base2.

Para o composto correspondente à fase de remisturação, o composto R1 base2, a Misturadora 4 é mais eficiente que a 5 e 7. Ao contrário do composto anterior, a Misturadora 7 é significativamente mais eficiente que a Misturadora 5 na produção deste composto.

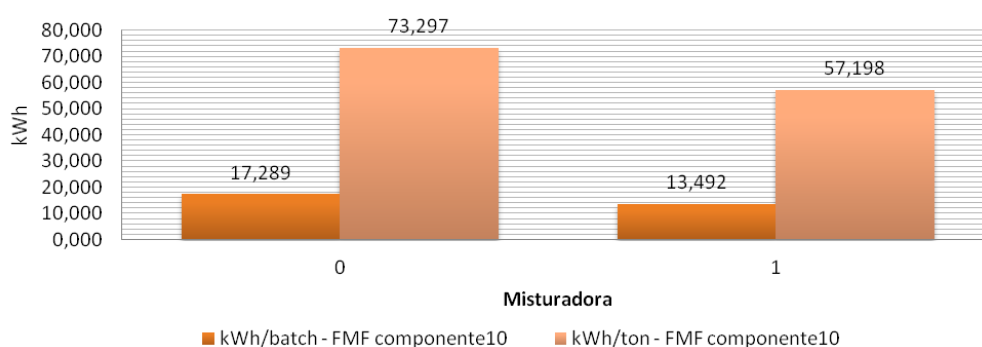


**Figura 4.12** - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por *batch* e por tonelada, do composto R1 base2.

A partir dos resultados do consumo destes compostos, correspondentes às três fases de produção do composto base2, verifica-se novamente, que o composto da fase *Final Mix* consome menos energia que o composto da fase *Remill*, e este por sua vez, consome menos que o composto da fase de misturação *Master Batch*, tal como constatado anteriormente.

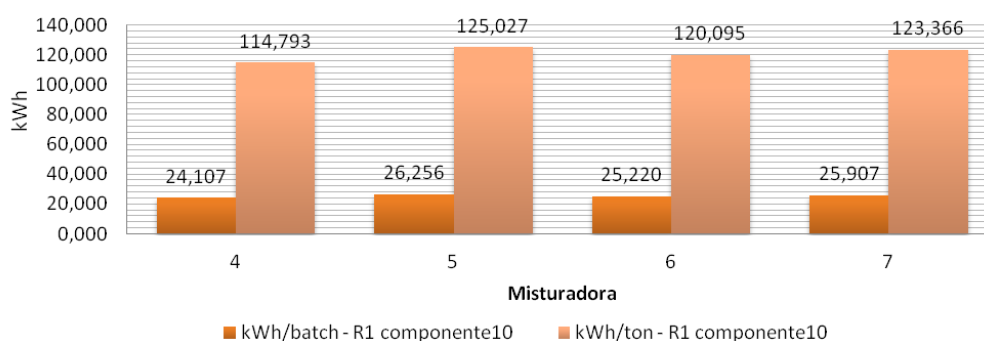
Posteriormente são apresentados os resultados obtidos para os compostos das diferentes fases do composto componente10.

No caso do composto FMF componen10 é possível aferir novamente, por observação do gráfico da Figura 4.13, que a Misturadora 1 é mais eficiente que a Misturadora 0. Tal como no composto anterior, a Misturadora 1 revela-se energeticamente mais eficiente que as outras misturadoras utilizadas para produzir compostos da fase *Final Mix*.



**Figura 4.13** - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por *batch* e por tonelada, do composto FMF componente10.

Tal como foi referido na subsecção anterior, os compostos M1 componente10 e M2 componente10 são produzidos exclusivamente na Misturadora 2, logo o Consumo Específico por misturadora é igual ao Consumo Específico Médio destes compostos, pelo que não fazia sentido apresentar estes resultados novamente.

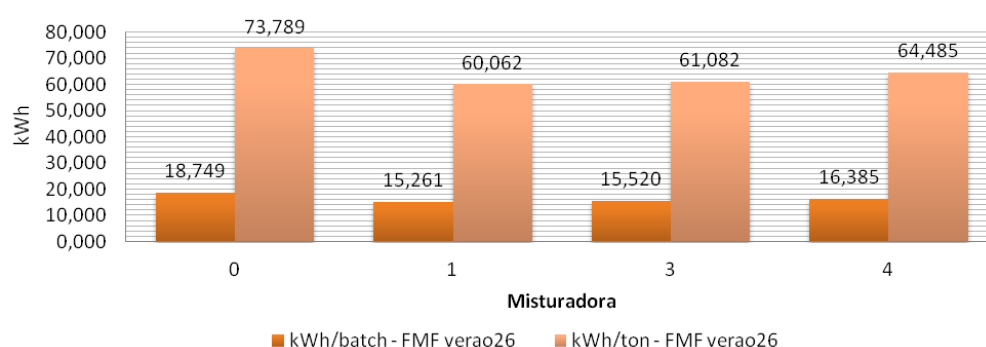


**Figura 4.14** - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por *batch* e por tonelada, do composto R1 componente10.

O processo de remisturação correspondente à produção do composto R1 componente10 consome menos energia quando é realizado na Misturadora 4, conforme os resultados

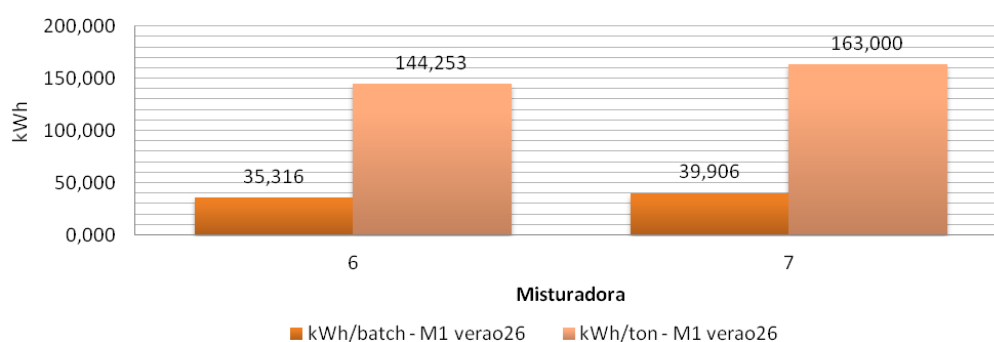
presentes no gráfico da Figura 4.14. Relativamente às outras três misturadoras em que este composto é produzido, a mais eficiente é a Misturadora 6, seguida pela 7 e esta pela 5.

Em seguida foram analisados os resultados obtidos para os compostos associados às fases de produção do composto de tipo Pisos verao26. Em relação à fase final, o composto FMF verao26, a misturadora mais eficiente é, mais uma vez, a Misturadora 1. No entanto o valor do Consumo Específico deste composto na Misturadora 3 é aproximado do valor obtido na 1, pelo que esta pode ser também considerada tão eficiente quanto a Misturadora 1, em relação à produção deste composto. A Misturadora 4 é a terceira que consome menos energia, e é seguida pela Misturadora 0. Estes resultados podem ser observados no gráfico da figura seguinte.

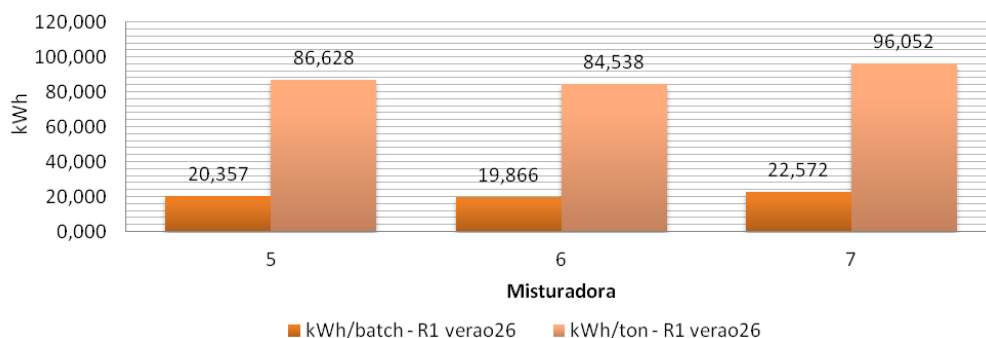


**Figura 4.15** - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por *batch* e por tonelada, do composto FMF verao26.

Para o composto M1 verao26, resultante da primeira fase de misturação, verifica-se no gráfico abaixo que a Misturadora 6 é mais eficiente para produzir este composto do que a Misturadora 7.



**Figura 4.16** - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por *batch* e por tonelada, do composto M1 verao26.



**Figura 4.17** - Gráfico do Consumo Energético por Misturadora, por *batch* e por tonelada, do composto R1 verao26.

Também para o composto R1 verao26, a misturadora que revelou ser mais eficiente foi a Misturadora 6, seguida pela Misturadora 5 e posteriormente pela Misturadora 7.

Os resultados completos obtidos para o Consumo Energético Específico por misturadora para produzir um *batch* de cada composto podem ser consultados entre a Tabela A.3.1 e a Tabela A.3.4, e os resultados por tonelada de cada composto podem ser consultados desde a Tabela A.4.1 até a Tabela A.4.4, todas presentes na secção A do capítulo de Anexos. Nestas últimas tabelas são também destacados os valores de consumo correspondentes à misturadora mais eficiente para produzir cada composto.

Com base nestes resultados verificou-se que entre as misturadoras disponíveis para produzir compostos correspondentes à fase *Final Mix* (misturadoras 0,1,3 e 4), a Misturadora 1 foi a que apresentou consumos de energia mais baixos, em praticamente todos os compostos que podem ser produzidos nesta misturadora.

No que toca aos compostos associados às fases de mistura e de remistura, apesar da discrepância entre consumos verificados não ser muito significativa, foi a Misturadora 6 que se destacou por apresentar consumos mais baixos para produzir estes compostos.

No entanto foi possível tirar as seguintes conclusões:

- Em 42% dos compostos correspondentes à fase *Final Mix*, a Misturadora 1 foi a que apresentou consumos específicos por *batch* e por tonelada mais baixos (cerca de 15%);
- A Misturadora 3 apresentou os consumos mais baixos (10%), após a Misturadora 1, para 32% dos compostos *Final Mix* analisados;
- Apenas 4 compostos *Final Mix* (8%) obtiveram consumos mais baixos na Misturadora 4;
- A Misturadora 0 correspondeu a 18% dos compostos, sendo estes exclusivamente produzidos nesta misturadora;
- Para 48% dos compostos associados às fases *Master Batch* 1 e 2, a Misturadora 6 foi 10% mais eficiente para produzir um *batch* ou uma tonelada destes compostos;
- A Misturadora 2 e a Misturadora 5 foram as que apresentaram consumos 10% mais baixos para 20 e 22%, respetivamente, dos compostos *Master Batch*;

- A Misturadora 7 mostrou-se 5% mais eficiente apenas para 4 destes compostos (7%);
- Apenas o composto M1 componente<sup>10</sup> apresentou o Consumo Específico mais baixo (5%) na Misturadora 4, correspondendo a 2% dos compostos Master;
- 43% dos compostos *Remill* apresentaram consumos 10% mais baixos na Misturadora 6 e 32% na Misturadora 7 (5% mais baixos);
- Somente 2 compostos (14%) associados à fase de remisturação obtiveram o consumo mais baixo na Misturadora 4, e 1 composto (7%) na Misturadora 5.

Todas estas aferições aqui demonstradas foram obtidas pela simples análise estatística da última coluna das tabelas A.1.1 até A.1.4, onde é exposta a misturadora mais eficiente para produzir cada composto. Mas mais importante, a determinação desta misturadora mais eficiente por composto foi conseguida por processamento dos resultados obtidos para o Consumo Energético Específico por Misturadora de cada composto analisado.

## 4.4 - Caracterização do Custo Energético dos Compostos

Nesta secção será apresentada uma simples análise dos resultados obtidos para os custos energéticos associados à produção de um *batch* e de uma tonelada de cada composto, em média e por misturadora. Estes custos são demonstrados para os quatro períodos tarifários existentes, e foram calculados com base nas tarifas elétricas aplicadas à empresa nos meses de estudo.

### 4.4.1 - Custo Energético Médio

O custo energético médio de cada composto corresponde ao custo do processo de misturação desse mesmo composto em qualquer uma das misturadoras em que possa ser produzido, ou seja, corresponde à média entre os valores obtidos para o custo de produção em cada uma dessas misturadoras. Na Tabela 4.6 são apresentados estes custos, por *batch* e por tonelada, para os mesmos compostos analisados ao longo deste capítulo. Todos os valores verificados na tabela são proporcionais aos valores do Consumo Específico Médio de cada composto analisado.

Enquanto na secção anterior foi possível perceber a diferença do consumo energético entre os diferentes tipos de compostos e respetivas fases, a partir destes resultados é, obviamente, possível verificar a diferença de custos entre os tipos e fases de compostos, mas mais importante, a diferença de custos de produção entre os quatro períodos tarifários para estes compostos. Assim, o custo ou a poupança decorrente da alocação do processo de produção de um composto de um período para outro, independentemente da misturadora, pode ser facilmente quantificada. É importante referir que os valores aqui obtidos serviram apenas para quantificar o custo médio de produção de cada composto, enquanto que o custo

energético de produção dos compostos em cada misturadora teve um papel mais importante neste estudo, o qual será demonstrado posteriormente.

**Tabela 4.6** - Custo Energético Médio associado à produção de um *batch* (€/batch) e de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários.

Período	Ponta		Cheia		Vazio		S. Vazio	
Composto	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton
M1 base2	2,061	8,472	1,954	8,032	1,714	7,044	1,706	7,013
R1 base2	1,490	6,867	1,413	6,511	1,239	5,710	1,234	5,684
FMF base2	1,000	4,510	0,949	4,276	0,832	3,750	0,828	3,733
M1 componente10	1,415	7,072	1,342	6,705	1,177	5,881	1,172	5,854
M2 componente10	1,436	6,970	1,361	6,609	1,194	5,796	1,189	5,770
R1 componente10	1,705	8,118	1,616	7,697	1,418	6,751	1,411	6,720
FMF componente10	0,901	3,818	0,854	3,620	0,749	3,175	0,746	3,160
M1 componente13	1,607	7,283	1,524	6,905	1,337	6,056	1,331	6,028
FMF componente13	1,123	4,451	1,064	4,220	0,934	3,701	0,929	3,685
FMO componente13.1	2,352	7,742	2,230	7,340	1,956	6,438	1,947	6,409
M1 verao26	2,352	9,608	2,230	9,109	1,956	7,989	1,947	7,953
R1 verao26	1,324	5,634	1,255	5,341	1,101	4,684	1,096	4,663
FMF verao26	1,160	4,566	1,100	4,329	0,965	3,797	0,960	3,780
workoff1	0,561	2,672	0,532	2,533	0,467	2,222	0,464	2,212

Da Tabela A.5.1 à Tabela A.5.3, no capítulo de Anexos, estão presentes os custos energéticos médios de todos os compostos analisados no estudo desta dissertação.

Tal como foi referido, estes custos foram determinados, para cada período tarifário, com base nas tarifas aplicadas nos mesmos. Assim, os valores dos custos de produção de cada composto, por *batch* e por cada tonelada, foram calculados através das seguintes expressões, respetivamente:

$$\text{Custo } p/\text{batch}_{\text{período}} (\text{€/batch}) = E(\text{kWh/batch}) * \text{tarifa}_{\text{período}} (\text{€/kWh}), \quad (4.1)$$

$$\text{Custo } p/\text{ton}_{\text{período}} (\text{€/ton}) = E(\text{kWh/ton}) * \text{tarifa}_{\text{período}} (\text{€/kWh}), \quad (4.2)$$

É importante referir que, nas expressões acima, a tarifa de cada período corresponde à média entre as tarifas aplicadas nos três meses do presente estudo.

Com base na média dos valores obtidos para estes custos para os compostos correspondentes às diferentes fases de produção de cada tipo, verificaram-se as seguintes conclusões:

- Os compostos das fases *Master Batch*, têm um custo energético de produção aproximado de €1,71 por *batch* e €7,26 por tonelada para os compostos Base; de

€1,33 por *batch* e €6,01 por tonelada para os compostos de Componentes do Pneu; e de €2,37 por *batch* e €9,48 por tonelada para os compostos de Pisos.

- Os compostos correspondentes à fase *Remill*, têm um custo energético aproximado de €1,21 por *batch* e €5,57 por tonelada para os compostos Base; de €1,46 por *batch* e €6,72 por tonelada para os compostos de Componentes do Pneu; e de €2,08 por *batch* e €4,24 por tonelada para os compostos de Pisos.
- Os compostos finais, da fase *Final Mix* apresentam um custo aproximado de €0,90 por *batch* e €3,95 por tonelada para os compostos Base; de €0,90 por *batch* e €3,84 por tonelada para os compostos de Componentes do Pneu; e de €0,95 por *batch* e €3,81 por tonelada para os compostos de Pisos.
- Os compostos de Componententes produzidos na Misturadora 9, isto é, os finais FMO, têm um custo médio de €2,13 por *batch* e de €6,57 por tonelada.
- Os compostos *Workoff* têm um custo energético médio de €0,50 por *batch* e €2,40 por tonelada.

#### 4.4.2 - Custo Energético por Misturadora

A partir dos valores obtidos para o Consumo Energético Específico por Misturadora de cada composto, juntamente com as tarifas elétricas aplicadas aos quatro períodos, determinou-se o custo energético associado à produção de um *batch* e de uma tonelada de todos os compostos, em cada uma das misturadoras disponíveis para produzir os mesmos.

Os consequentes resultados demonstraram-se fulcrais para determinar o custo ou a poupança associados à alteração das ordens de produção de compostos, quanto ao período horário, mas mais importante, quanto à misturadora escolhida. Desta forma foi possível analisar economicamente as diferentes ordens de produção de compostos realizadas ao longo do período de estudo, e a partir destas contruir cenários de gestão destas mesmas ordens com o objetivo de reduzir o consumo energético da Misturação, com a consequente redução de custos associados ao processo de produção. No entanto, este conteúdo será explorado no próximo capítulo deste documento.

Posteriormente, na Tabela 4.7, são apresentados alguns dos resultados obtidos para estes custos, que são correspondentes ao conjunto de compostos analisados neste capítulo. A partir desta tabela facilmente se distinguem os custos de produção de cada tipo e fase dos compostos nas diferentes misturadoras, para os quatro períodos tarifários. Os custos energéticos por misturadora para todos compostos podem ser consultados nos Anexos deste documento, nas últimas tabelas, desde a A.6.1 à A.6.7.



**Tabela 4.7** - Custo Energético por Misturadora associado à produção de um *batch* (€/batch) e de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários.

Período		Ponta		Cheia		Vazio		Supervazio	
Composto	Misturadora	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton
M1 base2	5	2,049	8,424	1,943	7,987	1,704	7,005	1,696	6,973
	7	2,093	8,603	1,984	8,157	1,740	7,154	1,732	7,122
R1 base2	4	1,076	4,958	1,020	4,701	0,895	4,123	0,891	4,104
	5	1,536	7,078	1,456	6,711	1,277	5,886	1,271	5,859
	7	1,412	6,505	1,338	6,167	1,174	5,409	1,168	5,385
FMF base2	0	1,099	4,955	1,042	4,698	0,914	4,121	0,910	4,102
	1	0,900	4,055	0,853	3,844	0,748	3,372	0,745	3,357
	3	0,974	4,389	0,923	4,161	0,810	3,650	0,806	3,633
	4	0,932	4,201	0,884	3,983	0,775	3,493	0,771	3,477
M1 componente10	2	1,415	7,072	1,342	6,705	1,177	5,881	1,172	5,854
M2 componente10	2	1,436	6,970	1,361	6,609	1,194	5,796	1,189	5,770
R1 componente10	4	1,603	7,632	1,519	7,236	1,333	6,346	1,327	6,317
	5	1,746	8,312	1,655	7,881	1,451	6,912	1,445	6,880
	6	1,677	7,984	1,590	7,570	1,394	6,639	1,388	6,609
	7	1,722	8,202	1,633	7,776	1,432	6,820	1,426	6,789
FMF componente10	0	1,149	4,873	1,090	4,620	0,956	4,052	0,951	4,034
	1	0,897	3,803	0,850	3,605	0,746	3,162	0,742	3,148
M1 componente13	2	1,607	7,283	1,524	6,905	1,337	6,056	1,331	6,028
FMF componente13	0	1,123	4,451	1,064	4,220	0,934	3,701	0,929	3,685
FMO componente13.1	9	2,352	7,742	2,230	7,340	1,956	6,438	1,947	6,409
M1 verao26	6	2,348	9,590	2,226	9,093	1,952	7,975	1,944	7,939
	7	2,653	10,837	2,515	10,274	2,206	9,011	2,196	8,970
R1 verao26	5	1,353	5,759	1,283	5,460	1,125	4,789	1,120	4,767
	6	1,321	5,620	1,252	5,329	1,098	4,673	1,093	4,652
	7	1,501	6,386	1,423	6,054	1,248	5,310	1,242	5,286
FMF verao26	0	1,246	4,906	1,182	4,651	1,036	4,079	1,032	4,061
	1	1,015	3,993	0,962	3,786	0,844	3,320	0,840	3,305
	3	1,032	4,061	0,978	3,850	0,858	3,377	0,854	3,361
	4	1,089	4,287	1,033	4,065	0,906	3,565	0,902	3,549
workoff1	4	0,561	2,672	0,532	2,533	0,467	2,222	0,464	2,212

## 4.5 - Indicadores de Consumo Energético dos Compostos

A presente secção pretende apresentar, numa primeira parte, os resultados obtidos para alguns dos indicadores de desempenho definidos para o consumo energético do processo de produção dos compostos, procedidos pela breve explicação da metodologia a adotar para avaliar a evolução destes indicadores. Para concluir, será feita a exposição das variáveis de causalidade que justificam as variações entre os consumos energéticos específicos verificados nas corridas realizadas, que influenciam os valores referência dos indicadores de consumo energético.

### 4.5.1 - Determinação dos Indicadores de Desempenho

Com base nos consumos específicos de energia associados à produção de cada composto, para cumprir um dos objetivos inicialmente propostos, determinaram-se indicadores de desempenho dos processos de produção da Misturação.

Os indicadores de desempenho, também conhecidos por *KPIs (Key Performance Indicators)*, no caso do estudo desta dissertação, correspondem aos consumos energéticos específicos determinados para cada corrida do processo de produção dos compostos.

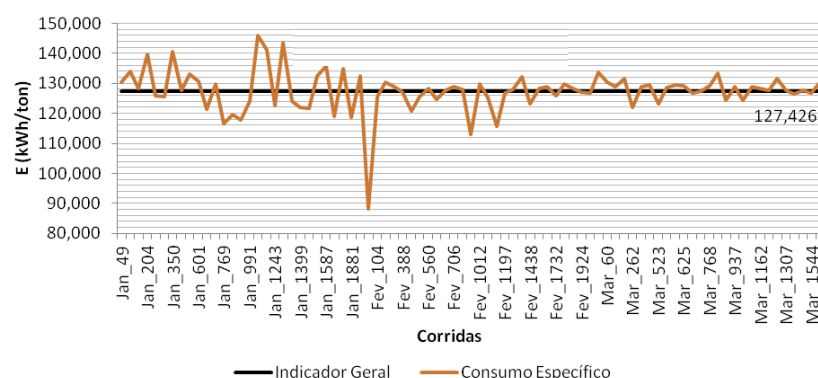
Assim, para cada composto analisado foram definidos indicadores de consumo energético médio, que correspondem ao valor de consumo verificado independentemente da misturadora em que decorre o processo de produção. Foram também definidos indicadores do consumo energético por misturadora.

Os valores referência dos indicadores definidos foram determinados pelo cálculo da média aritmética entre os valores obtidos para o Consumo Energético Específico de cada corrida de produção dos demais compostos.

É importante referir que a unidade dos indicadores definidos concorda com a unidade de todos os outros indicadores de consumos energéticos já utilizados na Continental Mabor, isto é, o kWh por tonelada de produto final, que neste caso são os compostos.

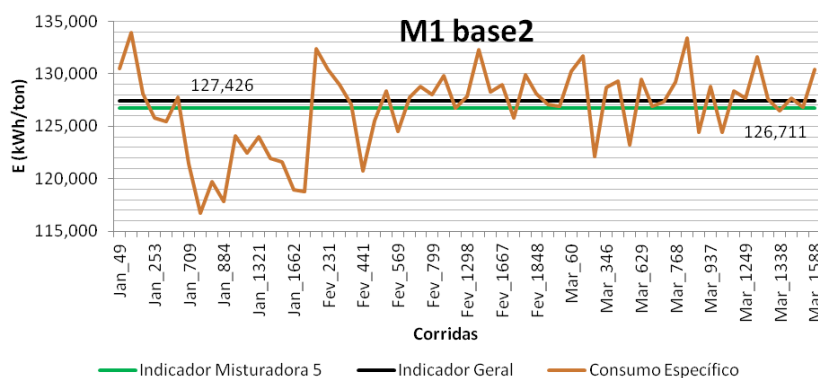
Nas figuras seguintes são apresentados gráficos representativos dos resultados obtidos para os indicadores de consumo energético médio, e por misturadora, de alguns dos compostos incluídos no conjunto analisado neste capítulo. Ao longo destas figuras é possível observar uma variação considerável nos valores da curva de consumo específico. Esta variação deve-se ao facto de a curva ser construída com base nos valores de consumo verificados nas corridas realizadas nas diferentes misturadoras, correspondendo cada pico da curva a um valor de consumo de uma corrida. No entanto, como poderá ser observado posteriormente, também existe uma variação considerável dos valores de consumo específico da produção do mesmo composto em cada misturadora. Estas variações serão exploradas na próxima subsecção.

Na Figura 4.18 é apresentado o indicador de consumo energético médio do composto Base, na fase *Master Batch* 1, M1 base2, sendo o seu valor referência representado pela linha a preto, e a sua variação cronológica pela curva de consumo específico a laranja. Sendo a produção deste composto feita entre a Misturadora 5 e a Misturadora 7, o valor de referência deste indicador (127,426 kWh/ton) corresponde à média entre os valores de consumo específico das corridas realizadas em ambas as misturadoras, que por sua vez corresponde, aproximadamente à média dos valores de referência dos indicadores de cada uma destas misturadoras (Misturadora 5: 126,711 kWh/ton e Misturadora 7: 129,408 kWh/ton).



**Figura 4.18** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético Médio do composto M1 base2, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto.

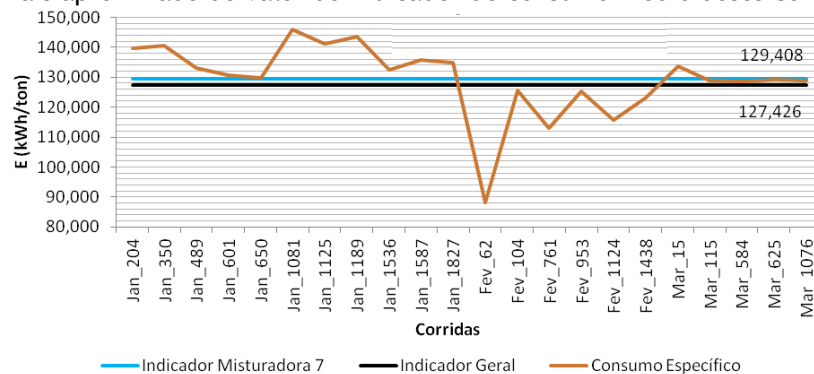
Relativamente à variação deste indicador, os picos mais elevados de consumo verificados nas corridas realizadas no mês de janeiro correspondem a corridas da Misturadora 7, tal como é possível verificar na Figura 4.20, pois é esta misturadora que apresenta o valor referência do indicador de desempenho superior (129,408 kWh/ton).



**Figura 4.19** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto M1 base2 na Misturadora 5, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 5.

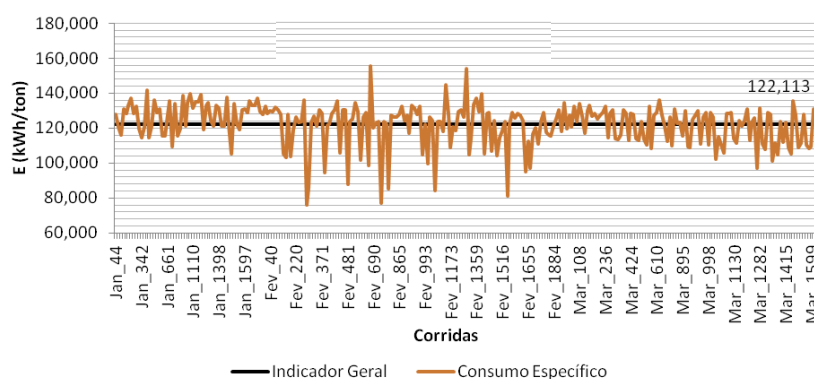
Por observação da Figura 4.19, devido à maior variação da curva de consumo específico compreende-se que foram efetuados mais corridas deste composto na Misturadora 5, quando comparada com a curva de consumo da Misturadora 7, que apresenta menos oscilações. Por

esta razão, o valor referência do Indicador de Consumo Energético do composto M1 base2 na Misturadora é mais aproximado do valor do indicador de consumo médio deste composto.



**Figura 4.20** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto M1 base2 na Misturadora 7, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 7.

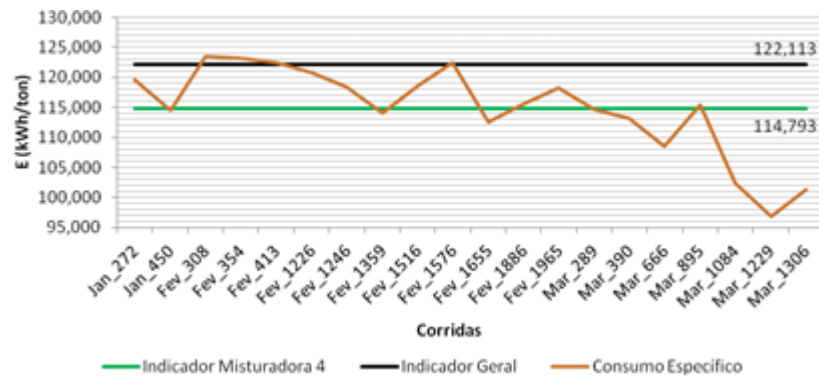
Seguidamente, na Figura 4.21 é apresentado o valor referência para o Indicador de Consumo Energético Médio do composto de Componentes do Pneu, na fase *Remill*, R1 componente10, assim como a variação de consumo associada. Este valor (122,113 kWh/ton) aproxima-se mais dos valores obtidos para os respetivos indicadores nas misturadoras 5, 6 e 7 (125,027 kWh/ton, 120,095 kWh/ton e 123,366 kWh/ton, respetivamente), pois foi realizado um maior número de corridas deste composto nestas misturadoras. Ainda no gráfico da Figura 4.21 verifica-se uma grande oscilação do consumo no mês de fevereiro. Esta variação deve-se aos valores de consumo registados neste mês nas corridas da Misturadora 6, e principalmente da Misturadora 7, tal como é possível constatar nas figuras respetivas aos indicadores de consumo de cada uma destas (Figura 4.24 e Figura 4.25, respetivamente).



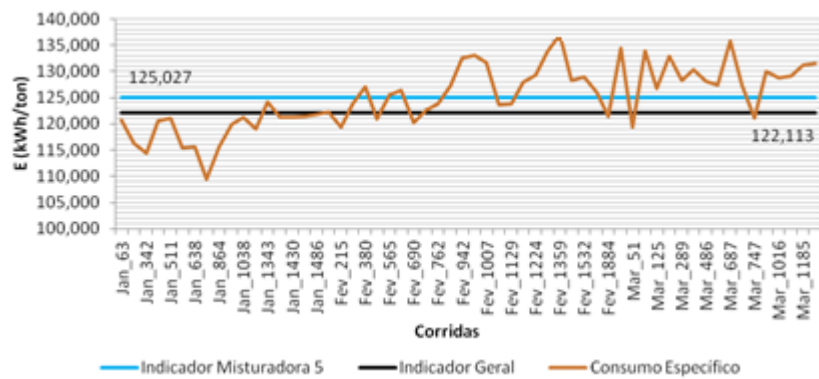
**Figura 4.21** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético Médio do composto R1 componente10, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto.

Contudo, apesar de influenciar menos o valor referência do indicador consumo médio do composto R1 componente10, devido ao menor número de corridas, é na Misturadora 4 que se verifica o valor referência do indicador mais baixo, em comparação com os indicadores das outras misturadoras. O valor do indicador de consumo energético deste composto na

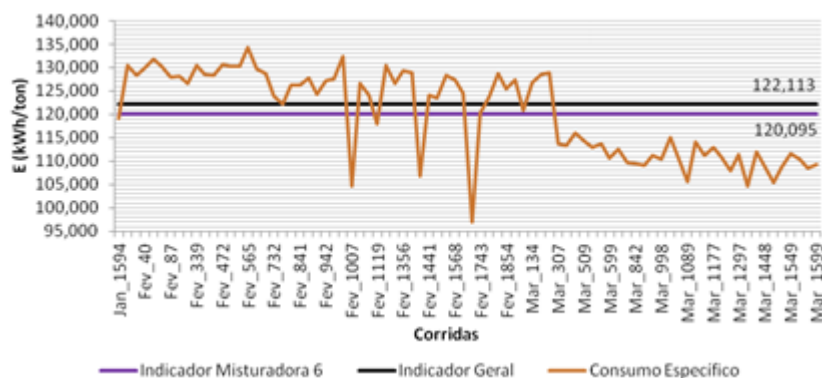
Misturadora 4 é de 114,793 kWh/ton, tal como é possível verificar no gráfico da Figura 4.22 abaixo, equivalendo esta misturadora à mais eficiente.



**Figura 4.22** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto R1 componente10 na Misturadora 4, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 4.

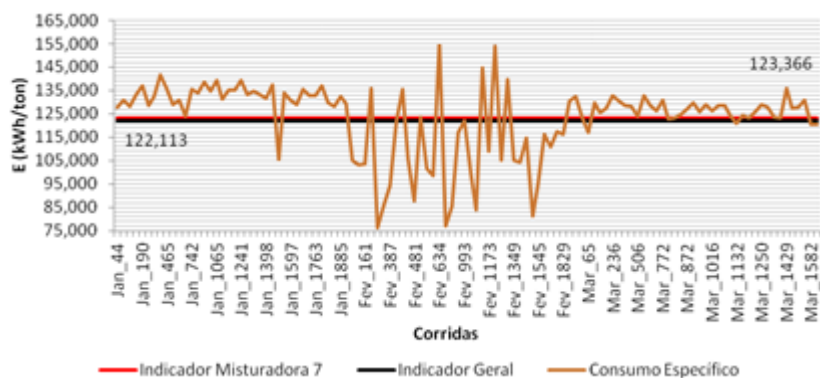


**Figura 4.23** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto R1 componente10 na Misturadora 5, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 5.

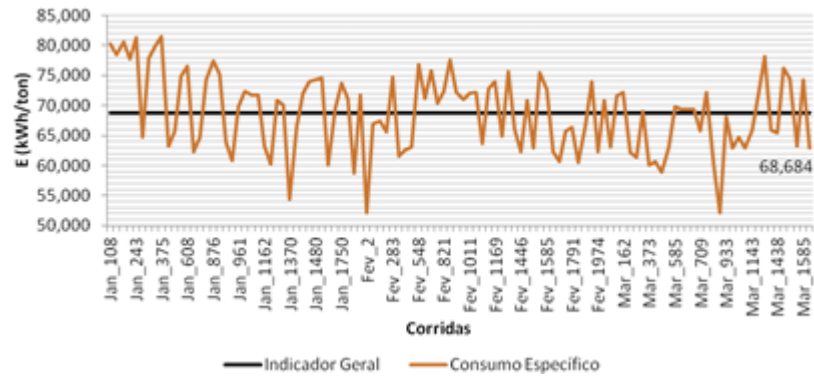


**Figura 4.24** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto R1 componente10 na Misturadora 6, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 6.

Na curva de consumo específico das corridas realizadas na Misturadora 7, presente no gráfico da Figura 4.25, verifica-se uma forte oscilação no mês de fevereiro, o que justifica a grande variação observada na curva de consumo específico geral. No entanto, esta variação coincide com o período para o qual foi eliminado um grande número de corridas realizadas nesta misturadora por corresponderem a dados de consumo de energia elétrica inconsistentes. Assim, apesar de não corresponder a corridas de *outliers*, esta variação verificada está diretamente relacionada com a razão que justifica a existência destes dados inconsistentes (já eliminados) neste período. Esta razão reflete-se na identificação de alguns problemas técnicos na Misturadora 7 identificados por operadores do setor da Misturação, tal como tinha sido referido anteriormente.

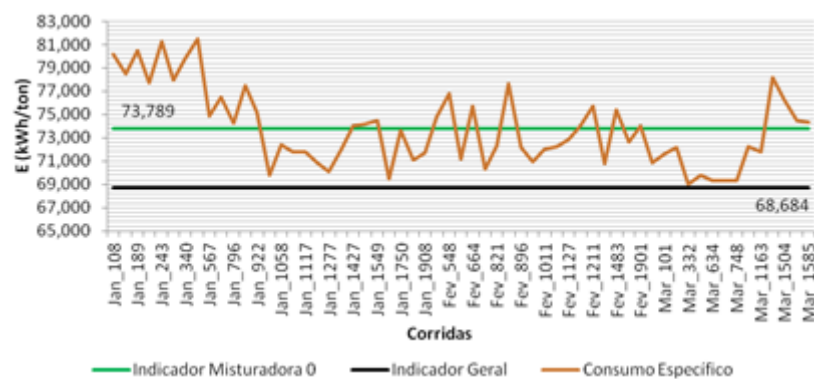


**Figura 4.25** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto R1 componente10 na Misturadora 7, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 7.



**Figura 4.26** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético Médio do composto FMF verao26, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto.

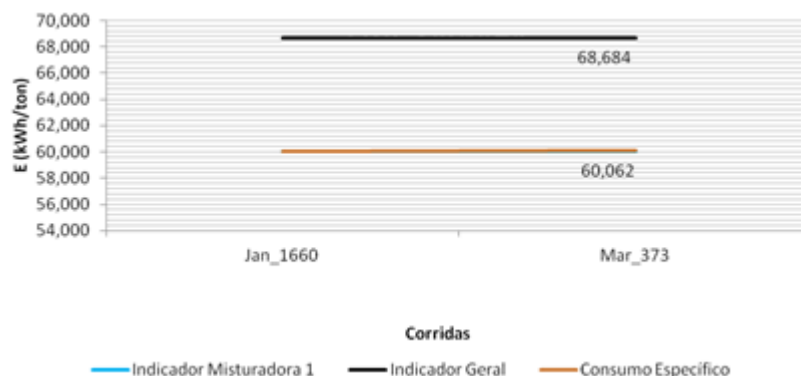
Na Figura 4.26 é apresentado o gráfico que contempla o valor referência do Indicador de Consumo Energético Médio do composto de Pisos, na fase *Final Mix*, FMF verao26, e tal como nos outros resultados, a curva de consumo específico das corridas realizadas para este composto. Neste gráfico é importante destacar que os picos da curva de consumo superiores ao valor de referência do indicador correspondem exclusivamente a corridas realizadas na Misturadora 0. Este destaque é justificado por observação do gráfico da Figura 4.27 onde se verifica facilmente que toda a curva de consumo das corridas executadas na Misturadora 0 está acima da linha do valor de referência do indicador de consumo geral deste composto. Por esta razão o valor de referência deste indicador geral deste composto (68,684 kWh/ton) é superior ao de cada uma das misturadoras em que é produzido, com exceção da Misturadora 0. Observa-se também que, em comparação com os gráficos dos indicadores das outras misturadoras (Figura 4.28, Figura 4.29 e Figura 4.30), foi nesta que se realizaram mais corridas, devido ao maior número de extremidades da curva de consumo específico.



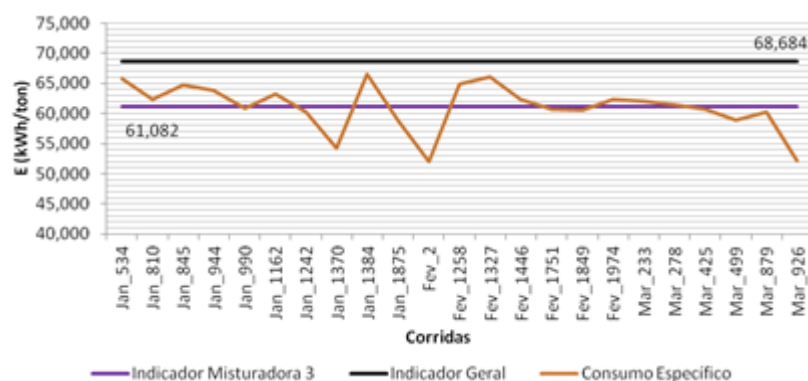
**Figura 4.27** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto FMF verao26 na Misturadora 0, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 0.

Contrariamente à misturadora anterior, a Misturadora 1 apresenta o valor de referência do indicador de consumo energético deste composto mais baixo (60,62 kWh/ton), sendo a misturadora mais eficiente. Não obstante, tal como pode ser constatado na Figura 4.28,

foram apenas realizadas duas corridas de produção deste composto na Misturadora 1, o que torna o valor do indicador de consumo energético menos fidedigno. Mas, por aferição dos resultados obtidos para os outros compostos do mesmo tipo e fase, a validade de que a Misturadora 1 é mais eficiente para a maioria destes compostos mantém-se.



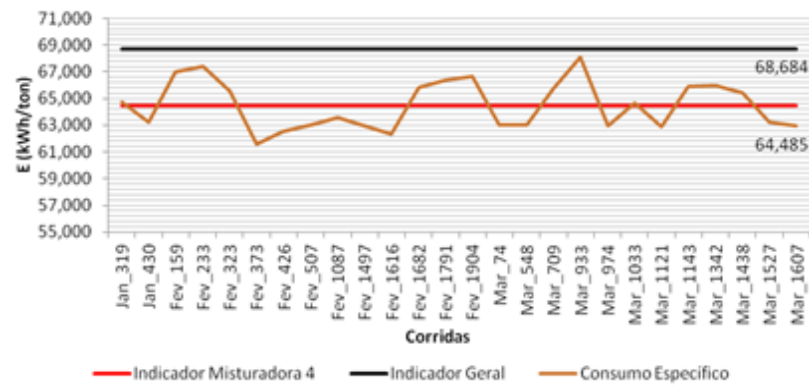
**Figura 4.28** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto FMF verao26 na Misturadora 1, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 1.



**Figura 4.29** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto FMF verao26 na Misturadora 3, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 3.

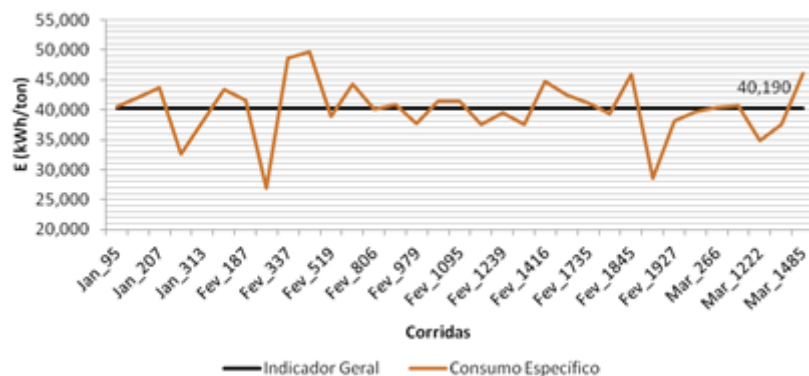
Em relação aos indicadores de consumo do composto FMF verao26 na Misturadora 3 (Figura 4.29) e na Misturadora 4 (Figura 4.30), ambos têm um valor referência abaixo do valor do indicador de consumo geral, 61,062 kWh/ton e 64,485 kWh/ton, respectivamente. As respectivas curvas de consumo apresentam pouca variação, e ambas estão totalmente abaixo da linha do valor referência do indicador de consumo energético médio deste composto.





**Figura 4.30** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético do composto FMF verao26 na Misturadora 4, do Indicador de Consumo Médio, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto na Misturadora 4.

O indicador de consumo energético médio do composto *workoff1*, apresentado na Figura 4.31, coincide com o indicador de consumo da única misturadora em que este composto é produzido (Misturadora 4), ou seja, o seu valor de referência depende unicamente do consumo específico das corridas aqui realizadas. A variação que se verifica na curva de consumo específico do indicador deve-se ao facto de que este composto corresponde à remisturação de diferentes compostos com características distintas.



**Figura 4.31** - Gráfico do Indicador de Consumo Energético Médio do composto *workoff1*, e da variação cronológica do Consumo Energético Específico de cada corrida deste composto.

Finalmente, apesar de nesta secção terem sido apresentados apenas 4 compostos dos 124 analisados neste estudo, a análise feita para estes foi feita de igual modo para todos os outros. Verificou-se que os valores dos indicadores de consumo energético médio da maioria dos compostos dependem principalmente dos valores dos consumos específicos das corridas realizadas nas misturadoras mais utilizadas para produzi-los, e que existem alguns compostos em que o valor de referência do indicador de desempenho da misturadora mais eficiente corresponde a um pequeno número de corridas realizadas na mesma, tornando o valor menos fidedigno devido à pequena amostra analisada, mas suficiente para comprovar que a dada misturadora consome menos energia para produzir o mesmo composto em comparação com as outras disponíveis. Os resultados obtidos para os indicadores de todos os outros compostos

não são apresentados no capítulo de anexos, uma vez que o valor referência dos mesmos coincide com o valor definido para o consumo energético específico médio e por misturadora já contemplados nas respectivas tabelas de resultados completos expostas no mesmo capítulo.

#### 4.5.2 - Metodologia de Avaliação dos Indicadores de Consumo Energético

Depois de definidos todos os valores referência dos indicadores de consumo energético médio e por misturadora, para todos os compostos definiu-se uma metodologia para avaliar a evolução destes indicadores ao longo do tempo. Esta metodologia coincide com a que foi adotada para determinar os consumos específicos médio e por misturadora, mas em vez de se aplicar a um período de três meses, deve ser feita ao fim de cada semana. Na determinação de cada um dos indicadores, o valor obtido para os mesmos deve ser comparado com o valor referência respetivo, para perceber a evolução do mesmo. Esta comparação deve ser numericamente, mas também graficamente, em que é construída uma curva com os valores semanais dos indicadores de desempenho, assim como uma linha reta representando o valor referência dos mesmos.

Dado que foi a primeira vez que foi realizado este estudo de caracterização do consumo energético do processo de produção dos compostos, assim como a definição destes indicadores de desempenho, os valores de referência definidos para os indicadores de cada composto devem ser mantidos fixos durante o período de um ano, até que seja necessário atualizar os mesmos, por exemplo, por alteração das receitas dos compostos, que também por vezes são atualizadas.

Assim, aproveitando a existência de relatórios semanais de consumos energéticos, os resultados obtidos na avaliação destes indicadores poderiam ser incluídos nos mesmos, sendo criado um relatório específico para os consumos específicos dos compostos produzidos na Misturação.

Esta metodologia de avaliação de desempenho pode ser facilitada se for feita uma certificação das centrais de medidas internas de cada misturadora, que atualmente não há qualquer certeza que estas registem os valores corretos do consumo energético verificado na produção de cada *batch* de cada composto. Assim, sem haver necessidade de realizar o processo de paralelismo entre os dados de consumos energéticos dos motores principais das misturadoras com os dados das ordens de produção, tal como foi explicado anteriormente, seriam facilmente determinados os consumos energéticos específicos de cada composto, o que obrigaria a uma atualização dos valores de referência dos indicadores de desempenho. No entanto, este tema será explorado na secção de Perspetivas de Trabalhos Futuros, no capítulo de desfecho da presente dissertação.

### 4.5.3 - Identificação de Variáveis de Causalidade

Com o intuito de justificar as variações de consumo energético específico entre corridas do mesmo composto, e principalmente na mesma misturadora, foi feita uma recolha, junto de operadores responsáveis pela Área da Misturação, de possíveis variáveis de causalidade para estas variações. No entanto, a maioria destas variáveis não é quantificada e as que são, não é possível fazer a sua exportação direta a partir da ferramenta de controlo da misturação de compostos (*Mixer Control Center*).

Assim, as variáveis de causalidade identificadas foram:

- Propriedades físicas das matérias-primas, principalmente da borracha natural e/ou sintética. Muitas vezes estas matérias-primas são utilizadas no processo de misturação ainda congeladas, ou com temperaturas diferentes, alterando as suas características (elasticidade, facilidade de misturação, etc.) - variável não quantificada;
- Tempo de armazenamento dos compostos correspondentes a fases iniciais e/ou intermédias (*Master Batch e Remill*) até serem utilizados para produzir compostos finais. Quanto mais imediata for a utilização dos compostos destas fases iniciais e intermédias, menor será a energia gasta para produzir o composto corresponde à fase posterior, ou seja, quanto mais tempo forem armazenados, mais “frios” (duros) ficam os compostos, tornando mais difícil a sua misturação - variável não quantificada;
- Pressão do martelo das misturadoras, que varia dependendo das necessidades de cada composto e controlada pelos operadores - variável quantificada mas sem exportação possível;
- Temperatura de *batch*, que é uma variável que determina se o processo de misturação dos compostos está concluído ou não - variável quantificada com possível exportação indireta;
- Binário do motor principal das misturadoras, que varia dependendo das necessidades de cada composto - variável quantificada e com possível exportação indireta.

Como anteriormente referido o programa de controlo da Misturação apenas permite exportar diretamente dados relativos a tempos e passos de produção de compostos, e ainda dados relativos a pesos e quantidades de compostos produzidos.

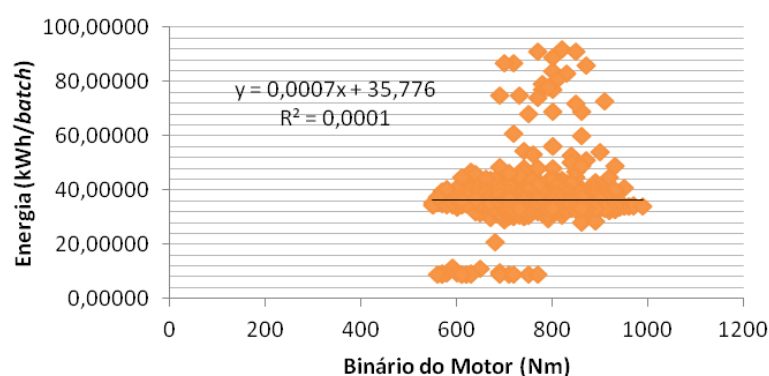
Em relação a todas as outras variáveis quantificadas nesta ferramenta só é possível observar os seus valores atuais, no entanto, estes valores são registados em bases de dados, às quais apenas a Siemens tem acesso. Assim, após um pedido formal de exportação de uma amostra destes dados, relativos a temperaturas de *batch* e binário do motor, fez-se um

estudo para perceber se haveria forma de justificar os valores de consumo de energia específicos de cada composto através destas variáveis.

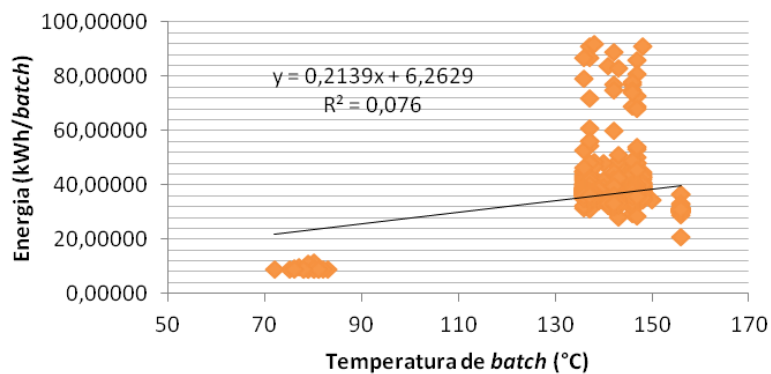
Os dados fornecidos pela Siemens corresponderam às ordens de produção do mês de janeiro na Misturadora 9.

O estudo passou pela construção de gráficos de dispersão que relacionam o consumo de energia específico por *batch* determinado para cada um dos intervalos com o valor de binário do motor para os mesmo intervalos, e por sua, com o valor da temperatura do *batch*.

Infelizmente, tal como é possível constatar nos gráficos nas figuras seguintes, não foi encontrada explicabilidade dos valores de consumo de energia nestas variáveis analisadas, pois não se verificou qualquer relação entre as mesmas.



**Figura 4.32** - Gráfico de dispersão que relaciona a energia consumida por *batch* (kWh/batch) com o binário do motor (Nm), na produção de cada um dos compostos na Misturadora 9.



**Figura 4.33** - Gráfico de dispersão que relaciona a energia consumida por *batch* (kWh/batch) com a temperatura do *batch* (°C), na produção de cada um dos compostos na Misturadora 9.

Resumindo, a identificação destas variáveis de causalidade mostrou-se importante para tentar justificar as variações dos consumos específicos das corridas de produção dos compostos, no entanto como algumas delas não são quantificadas, não foi possível fazer um estudo aprofundado sobre o impacto das mesmas em relação aos valores de consumo.

## Capítulo 5

# Gestão Energética dos Processos na Área da Misturação

Neste capítulo pretende-se fazer uma exposição das poupanças de custos, consequentes de uma gestão do ponto de vista energético, das ordens de produção dos compostos na Área da Misturação.

Numa primeira secção serão apresentados os cenários de produção analisados, assim como as considerações feitas para poder proceder à gestão energética de cada um destes.

Seguidamente demonstrar-se-á, para os diferentes casos de cada cenário, os custos totais e as respetivas melhorias resultantes da gestão energética dos mesmos.

Finalmente, numa última secção serão listados os passos que devem seguir os supervisores da área da Misturação para reduzir os custos associados aos processos de produção dos compostos, sem alterar os compostos a produzir, e sem necessidade de investimentos em novos equipamentos.

### 5.1 - Cenários de Produção de Compostos Analisados

Com o objetivo de se comprovar o potencial de poupança energética na Área da Misturação, nesta fase do trabalho, analisaram-se oito cenários de produção de compostos, escolhidos aleatoriamente. Estes cenários correspondem a diferentes intervalos de tempo, nunca superiores aos três meses de dados estudados, e incluem ordens de produção de todos os compostos de misturadoras específicas, ordens de produção de compostos específicos em todas as misturadoras, assim como ordens de produção de todos os compostos em todas as misturadoras.

Desta forma, é possível identificar os cenários de produção analisados:

- Cenário 1 - Ordens de produção do dia 24 de janeiro de 2014, na Misturadora 7;
- Cenário 2 - Ordens de produção do dia 12 de fevereiro de 2014, na Misturadora 0;

- Cenário 3 - Ordens de produção do dia 6 de março de 2014, na Misturadora 4;
- Cenário 4 - Ordens de produção do composto FMF verao26, em todas as respetivas misturadoras, para os três meses de dados;
- Cenário 5 - Ordens de produção do dia 18 de fevereiro de 2014, em todas as misturadoras;
- Cenário 6 - Ordens de produção da semana de 10 de março a 16 de março de 2014, em todas as misturadoras;
- Cenário 7 - Ordens de produção do mês de janeiro de 2014, na Misturadora 7;
- Cenário 8 - Ordens de produção do mês de fevereiro de 2014, em todas as misturadoras.

Para cada um destes cenários analisou-se o custo total das respetivas ordens de produção, correspondendo ao Caso Base de cada cenário, e posteriormente analisaram-se, para os mesmos, os seguintes casos de gestão das ordens:

- Caso 1 - Alocação da produção de compostos à misturadora mais eficiente;
- Caso 2 - Alocação da produção de compostos a períodos tarifários mais baratos, na mesma misturadora;
- Caso 3 - Alocação da produção de compostos à misturadora mais eficiente, após alocação a períodos tarifários mais baratos.

Estes casos foram aplicados a quase todos os cenários, com exceção do 5 e do 9, para os quais apenas foram analisados o Caso Base e o Caso 1. Isto justifica-se pelo facto de o Cenário 5 corresponder às ordens de produção de um composto específico, sendo indiferente do período tarifário. Em relação ao Cenário 9, apenas se analisou a alocação da produção de compostos à misturadora mais eficiente devido à extensa duração do intervalo de tempo (mês de fevereiro) com um elevado número de compostos produzidos, e uma vez que este caso corresponde à poupança de custos energéticos mais significativa, quando comparado com a alocação a períodos tarifários mais baratos, como será demonstrado posteriormente.

É de salientar que nos casos de alocação da produção de compostos a outras misturadoras, foi considerado que as mesmas estariam sempre disponíveis, o que na realidade não acontece, uma vez que, normalmente, nas ordens de produção as misturadoras trabalham todas em simultâneo, de maneira a produzir uma maior quantidade de compostos.

O processo de determinação do custo energético total dos diferentes casos de cada cenário de produção pode ser explicado pelas seguintes etapas:

1. Especificação do número de *batches* produzidos em cada intervalo, de 15 minutos, para as diferentes corridas dos compostos, através da subtração do número acumulado de *batches* do intervalo atual ao número de *batches* do intervalo seguinte:

$$N^{\circ} \text{cargas}_{\text{intervalo}} = N^{\circ} \text{cargas}_{\text{intervalo seguinte}}^{\text{acumulado}} - N^{\circ} \text{cargas}_{\text{intervalo atual}}^{\text{acumulado}}, \quad (5.1)$$

2. Determinação do custo por *batch* de cada composto, com base no período tarifário a que corresponde o intervalo (data e hora), e no consumo energético específico por misturadora do respetivo composto, através da expressão:

$$Custo_{p/batch_{intervalo}}(€/batch) = E(kWh/batch) * tarifa_{período}(€/kWh), \quad (5.2)$$

Esta expressão distingue-se da 4.1, apresentada no capítulo anterior, pelo facto de que a tarifa de cada período corresponde à efetivamente verificada no respetivo mês, e não à média dos três meses, tornando os resultados mais precisos.

3. Cálculo do custo de cada intervalo a partir da multiplicação do número de *batches* produzidos pelo custo por *batch*:

$$Custo_{intervalo}(€) = Custo_{p/batch_{intervalo}}(€/batch) * N^o_{cargas_{intervalo}}, \quad (5.3)$$

4. Determinação do custo de cada corrida de produção de compostos pelo somatório dos custos dos intervalos correspondentes:

$$Custo_{corrida}(€) = \sum Custo_{intervalo}(€), \quad (5.4)$$

5. Determinação custo total de cada caso dos diferentes cenários, pelo somatório do custo total das diferentes corridas da respetiva ordem de produção:

$$Custo_{caso}^{total}(€) = \sum Custo_{corrida}(€), \quad (5.5)$$

## 5.2 - Gestão Energética dos Cenários de Produção

Seguidamente será apresentado para cada um dos cenários referidos, os resultados obtidos para o custo total das respetivas ordens de produção de compostos dos casos analisados, incluindo o Caso Base. Nos casos que correspondem à gestão energética deste último, é também apresentada a poupança decorrente das alterações efetuadas. Para cada um destes casos é determinada uma estimativa da poupança anual respetiva, considerando que por ano a fábrica trabalha, aproximadamente, 325 dias, que correspondem a 46,3 semanas, 10,7 meses e 3,6 trimestres. Para os cenários que correspondem a um dia de laboração, a poupança anual é calculada pela multiplicação da poupança verificada em cada caso por 325 dias; para os cenários de uma semana, a poupança anual é dada pela multiplicação da poupança de cada caso por 46,3 semanas; para os cenários que correspondem a um mês, é utilizado o valor de 10,7 meses multiplicado pela poupança de cada caso; e finalmente, no cenário que corresponde aos três meses de dados analisados, é utilizado o valor de 3,6 trimestres multiplicado pela poupança verificada para esse período.

### 5.2.1 - Cenário 1

O primeiro cenário analisado corresponde à ordem de produção de compostos da Misturadora 7 no dia 24 de janeiro de 2014. Tal como foi referido, este dia foi escolhido aleatoriamente no mês de janeiro.

Por observação da tabela abaixo relativa ao Caso Base deste cenário, verifica-se que neste dia foram produzidos apenas 6 compostos, e tendo em conta o período tarifário a que foram produzidos e o seu consumo energético específico nesta misturadora, o custo total ronda os 427 euros. Verifica-se ainda que o composto M1 verao10 corresponde ao mais caro.

**Tabela 5.1** - Ordem de produção de compostos do Caso Base do Cenário 1 (Misturadora 7, dia 24-01-2014), com determinação do custo energético total do mesmo.

Caso Base - Cenário 1				
Misturadora	Composto	Corrida	Nº Batches	Custo
7	M1 base1	Jan_1403	60	102,198 €
7	M1 verao24	Jan_1418	40	91,419 €
7	R1 verao24	Jan_1425	25	33,289 €
7	R1 verao24	Jan_1454	15	19,973 €
7	M1 verao10	Jan_1459	40	108,528 €
7	R1 componente10	Jan_1467	40	71,690 €
Total				427,096 €

**Tabela 5.2** - Ordem de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 1 (Misturadora 7, dia 24-01-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

Caso 1 - Cenário 1					
Misturadora	Composto	Corrida	Nº Batches	Custo	Poupança
5	M1 base1	Jan_1403	60	91,656 €	10,542 €
6	M1 verao24	Jan_1418	40	91,379 €	0,040 €
7	R1 verao24	Jan_1425	25	33,289 €	- €
7	R1 verao24	Jan_1454	15	19,973 €	- €
6	M1 verao10	Jan_1459	40	95,744 €	12,784 €
4	R1 componente10	Jan_1467	40	66,708 €	4,982 €
Total				398,749 €	28,348 € (6,64%)
Poupança Anual				9.212,959 €	

No Caso 1, apresentado na Tabela 5.2, como já foi exposto anteriormente, procedeu-se à alteração da misturadora escolhida para produzir os compostos para os quais a Misturadora 7 não é a mais eficiente, obtendo assim, um custo total do dia a rondar os 398,75 euros, o que corresponde a uma redução 6,64% em relação ao custo do Caso Base deste cenário. As maiores poupanças verificam-se nos compostos na fase *Master Batch 1*, M1 base1 e M1 verao10. A redução de 28,35 euros num dia de laboração desta misturadora, corresponde a



uma poupança de 9.212,96 euros por ano. Mas se esta poupança energética for verificada nas nove misturadoras da área da Misturação, o valor que é possível poupar ronda os 83.000,00 euros por ano.

O Caso 2 corresponde à alteração da ordem de produção dos compostos, sem alterar a misturadora escolhida, passando os compostos que apresentam um consumo energético específico superior para as horas de Supervazio e Vazio, e os que consomem menos para as horas de Cheia e Ponta. Por observação dos resultados presentes na Tabela 5.3, apresentada abaixo, constata-se que esta alteração conduz a uma redução pouco significativa, de 0,54%, que corresponde a uma poupança de, aproximadamente 743 euros por ano. É de salientar a poupança verificada no composto M1 verao10, que é contrariada pelo aumento do custo do composto M1 base1, pois apesar de este custo ter aumentado, como o composto M1 verao10 correspondia ao mais caro do Caso Base deste cenário, uma maior poupança neste conduz a uma redução do custo total da ordem de produção, ainda que menos significativa.

**Tabela 5.3** - Ordem de produção de compostos do Caso 2 do Cenário 1 (Misturadora 7, dia 24-01-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

Caso 2 - Cenário 1					
Misturadora	Composto	Corrida	Nº Batches	Custo	Poupança
7	M1 verao24	Jan_1418	40	90,643 €	0,776 €
7	M1 verao10	Jan_1459	40	93,040 €	15,488 €
7	M1 base1	Jan_1403	60	114,898 €	- 12,701 €
7	R1 verao24	Jan_1425	25	34,968 €	- 1,679 €
7	R1 verao24	Jan_1454	15	20,376 €	- 0,403 €
7	R1 componente10	Jan_1467	40	70,885 €	0,804 €
Total				424,810 €	2,287 € (0,54%)
Poupança Anual				743,117€	

**Tabela 5.4** - Ordem de produção de compostos do Caso 3 do Cenário 1 (Misturadora 7, dia 24-01-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

Caso 3 - Cenário 1					
Misturadora	Composto	Corrida	Nº Batches	Custo	Poupança
6	M1 verao24	Jan_1418	40	90,603 €	0,815 €
6	M1 verao10	Jan_1459	40	82,080 €	26,448 €
5	M1 base1	Jan_1403	60	103,046 €	- 0,849 €
7	R1 verao24	Jan_1425	25	34,968 €	- 1,679 €
7	R1 verao24	Jan_1454	15	20,376 €	- 0,403 €
4	R1 componente10	Jan_1467	40	65,959 €	5,730 €
Total				397,033 €	30,063 € (7,04%)
Poupança Anual				9.770,618 €	

No entanto, se após a alocação da produção dos compostos mais caros para períodos mais baratos e vice-versa na mesma misturadora, for efetuada a alteração da misturadora escolhida para a mais eficiente, ou seja, o Caso 3, a poupança energética consequente desta combinação de alterações é superior à do Caso 1, onde se alterou apenas a misturadora. Esta aferição verifica-se nos resultados da Tabela 5.4, apresentada anteriormente, onde se destaca a poupança no custo de produção do composto M1 verao10, e a redução de 7,04% do custo total do caso base deste cenário.

### 5.2.2 - Cenário 2

O Cenário 2 coincide com a ordem de produção de compostos da Misturadora 0 no dia 12 de fevereiro de 2014.

Na tabela seguinte é apresentado o Caso Base deste cenário. Em comparação com o cenário anterior, são produzidos mais compostos, mas o custo total do Caso Base de 381,32 euros, é inferior, pois, os compostos incluídos no mesmo correspondem a consumos específicos de energia inferiores, maioritariamente, por serem compostos da fase *Final Mix*.

**Tabela 5.5** - Ordem de produção de compostos do Caso Base do Cenário 2 (Misturadora 0, dia 12-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo.

Caso Base - Cenário 2				
Misturadora	Composto	Corrida	Nº <i>Batches</i>	Custo
0	FMF componente1	Fev_743	28	21,810 €
0	FMF componente5	Fev_749	59	40,494 €
0	FMF verao26	Fev_757	60	60,613 €
0	FMF verao12	Fev_763	49	51,314 €
0	FMF verao22	Fev_767	30	31,384 €
0	FMF verao28	Fev_775	29	27,359 €
0	FMF componente1	Fev_786	30	27,095 €
0	F1 componente7	Fev_792	37	29,676 €
0	FMF componente3	Fev_795	50	47,820 €
0	FMF componente2	Fev_801	48	43,954 €
<b>Total</b>				<b>381,519 €</b>

No Caso 1 deste cenário (Tabela 5.6), verificou-se que na maioria dos compostos a alteração da Misturadora 0 para a respetiva misturadora mais eficiente (Misturadora 1 ou Misturadora 3), conduziu a uma redução de custos bastante significativa, e apenas aquelas compostos que não têm como alternativa outra misturadora para os produzir não conduziram a qualquer poupança. Assim, obteve-se uma redução do custo total, em relação ao Caso Base de 34,38 euros (9,01%), que corresponde a uma poupança de 11.173,81 euros por ano apenas na Misturadora 0. Se a poupança fosse verificada em todas as misturadoras, o valor aproximar-se-ia dos 100.000,00 euros por ano.

**Tabela 5.6** - Ordem de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 2 (Misturadora 0, dia 12-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

Caso 1 - Cenário 2					
Misturadora	Composto	Corrida	Nº Batches	Custo	Poupança
0	FMF componente1	Fev_743	28	21,810 €	- €
0	FMF componente5	Fev_749	59	40,494 €	- €
1	FMF verao26	Fev_757	60	49,336 €	11,276 €
3	FMF verao12	Fev_763	49	40,275 €	11,040 €
1	FMF verao22	Fev_767	30	25,079 €	6,305 €
1	FMF verao28	Fev_775	29	23,194 €	4,164 €
0	FMF componente1	Fev_786	30	27,095 €	- €
3	F1 componente7	Fev_792	37	28,081 €	1,595 €
0	FMF componente3	Fev_795	50	47,820 €	- €
0	FMF componente2	Fev_801	48	43,954 €	- €
Total				347,138 €	34,381 € (9,01%)
Poupança Anual				11.173,808 €	

Com a alteração da ordem de produção deste cenário (Caso 2) verificou-se uma poupança de 1.497,18 euros por ano, conseqüente de uma redução de 1,21% no custo total da ordem de produção. Destacam-se, na tabela abaixo correspondente a este caso, as poupanças verificadas nos compostos de pisos de Verão, contrariadas pelo aumento de custo de produção de alguns compostos de componentes do pneu. Os compostos para os quais que não se verifica qualquer poupança, após alteração da ordem de produção, continuaram a ser produzidos no mesmo período tarifário.

**Tabela 5.7** - Ordem de produção de compostos do Caso 2 do Cenário 2 (Misturadora 0, dia 12-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

Caso 2 - Cenário 2					
Misturadora	Composto	Corrida	Nº Batches	Custo	Poupança
0	FMF verao22	Fev_767	30	26,206 €	5,178 €
0	FMF verao26	Fev_757	60	55,114 €	5,498 €
0	FMF verao12	Fev_763	49	45,588 €	5,726 €
0	FMF verao28	Fev_775	29	27,359 €	- €
0	FMF componente5	Fev_749	59	49,378 €	- 8,884 €
0	FMF componente2	Fev_801	48	43,954 €	- €
0	FMF componente1	Fev_786	30	27,095 €	- €
0	FMF componente1	Fev_743	28	25,289 €	- 3,478 €
0	F1 componente7	Fev_792	37	30,966 €	- 1,290 €
0	FMF componente3	Fev_795	50	45,964 €	1,856 €
Total				376,913 €	4,607 € (1,21%)
Poupança Anual				1.497,175 €	

**Tabela 5.8** - Ordem de produção de compostos do Caso 3 do Cenário 2 (Misturadora 0, dia 12-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

<b>Caso 3 - Cenário 2</b>					
<b>Misturadora</b>	<b>Composto</b>	<b>Corrida</b>	<b>Nº Batches</b>	<b>Custo</b>	<b>Poupança</b>
1	FMF verao22	Fev_767	30	20,941 €	10,443 €
1	FMF verao26	Fev_757	60	44,861 €	15,752 €
3	FMF verao12	Fev_763	49	35,780 €	15,534 €
1	FMF verao28	Fev_775	29	23,194 €	4,164 €
0	FMF componente5	Fev_749	59	49,378 €	- 8,884 €
0	FMF componente2	Fev_801	48	43,954 €	- €
0	FMF componente1	Fev_786	30	27,095 €	- €
0	FMF componente1	Fev_743	28	25,289 €	- 3,478 €
3	F1 componente7	Fev_792	37	29,301 €	0,375 €
0	FMF componente3	Fev_795	50	45,964 €	1,856 €
<b>Total</b>				<b>345,757 €</b>	<b>35,762 € (9,37%)</b>
<b>Poupança Anual</b>				<b>11.622,597 €</b>	

Finalmente, com a alocação da produção dos compostos, já organizados nos períodos tarifários mais convenientes, para as misturadoras mais eficientes, pelos resultados da Tabela 5.8, constata-se uma redução do custo total ainda maior que no Caso 1, como seria de esperar. Esta diferença (9,37% em relação ao Caso Base) corresponde a uma poupança anual estimada em 11.622,60 euros, na Misturadora 0.

### 5.2.3 - Cenário 3

Neste cenário analisou-se a ordem de produção de compostos do dia 6 de março de 2014 para a Misturadora 4, onde são produzidos compostos de todas as fases.

**Tabela 5.9** - Ordem de produção de compostos do Caso Base do Cenário 3 (Misturadora 4, dia 06-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo.

<b>Caso Base - Cenário 3</b>				
<b>Misturadora</b>	<b>Composto</b>	<b>Corrida</b>	<b>Nº Batches</b>	<b>Custo</b>
4	M1 componente7	Mar_365	58	73,861 €
4	FMF verao2	Mar_376	40	36,361 €
4	FMF verao13	Mar_383	38	34,512 €
4	R1 componente10	Mar_390	19	29,176 €
4	FMF verao10	Mar_391	60	61,273 €
4	M1 componente6	Mar_404	60	94,251 €
4	M2 componente6	Mar_413	76	103,478 €
4	workoff1	Mar_436	19	10,768 €
4	M1 componente7	Mar_440	37	53,749 €
<b>Total</b>				<b>497,428 €</b>

Na Tabela 5.9 verifica-se que o custo energético total do Caso Base deste cenário é de 497,43 euros, onde os compostos mais caros correspondem às fases *Master Batch* dos compostos de componentes do pneu.

No Caso 1 deste cenário, com a alteração da misturadora escolhida para a mais a mais eficiente, destacaram-se as reduções no custo de produção dos compostos que passaram a ser produzidos na Misturadora 2, isto é, os compostos M1 componente6 e M2 componente6.

Desta forma, na tabela abaixo (Tabela 5.11) constata-se que o custo total deste caso diminuiu 10,96% em relação ao custo do Caso Base, o que corresponde a uma poupança de, aproximadamente, 17.724,51 euros por ano. Mais uma vez, se esta poupança se aplicasse a todas as misturadoras existentes, o valor da poupança total rondaria os 158.000,00 euros por ano.

**Tabela 5.10** - Ordem de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 3 (Misturadora 4, dia 06-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

Caso 1 - Cenário 3					
Misturadora	Composto	Corrida	Nº <i>Batches</i>	Custo	Poupança
5	M1 componente7	Mar_365	58	69,816 €	4,045 €
3	FMF verao2	Mar_376	40	35,851 €	0,510 €
1	FMF verao13	Mar_383	38	31,496 €	3,016 €
4	R1 componente10	Mar_390	19	29,176 €	- €
4	FMF verao10	Mar_391	60	61,273 €	- €
2	M1 componente6	Mar_404	60	76,247 €	18,004 €
2	M2 componente6	Mar_413	76	77,459 €	26,018 €
4	workoff1	Mar_436	19	10,768 €	- €
5	M1 componente7	Mar_440	37	50,805 €	2,944 €
<b>Total</b>				<b>442,891 €</b>	<b>54,537 € (10,96%)</b>
<b>Poupança Anual</b>				<b>17.724,512 €</b>	

Relativamente ao Caso 2, representado pela Tabela 5.11, como se tem verificado para o mesmo caso nos outros cenários, a poupança consequente da alteração da ordem de produção dos compostos mais caros para períodos em que o custo de energia é mais baixo na mesma misturadora, é pouco significativa. Contudo, é importante considerar este caso como uma hipótese de gestão energética das ordens de produção que conduz a uma redução do custo total das mesmas, uma vez que a alteração da misturadora escolhida para a mais eficiente pode não ser possível ser realizada, por a misturadora não estar disponível. Neste caso, a poupança anual decorrente é de 1.132,07 euros na Misturadora 4, e de, aproximadamente, 10.000,00 euros por ano, se a poupança for verificada em todas as misturadoras.

**Tabela 5.11** - Ordem de produção de compostos do Caso 2 do Cenário 3 (Misturadora 4, dia 06-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

<b>Caso 2 - Cenário 3</b>					
<b>Misturadora</b>	<b>Composto</b>	<b>Corrida</b>	<b>Nº Batches</b>	<b>Custo (€)</b>	<b>Poupança</b>
4	M1 componente7	Mar_440	37	47,187 €	6,562 €
4	M1 componente6	Mar_404	60	81,313 €	12,938 €
4	R1 componente10	Mar_390	19	25,548 €	3,628 €
4	M1 componente7	Mar_365	58	81,780 €	- 7,919 €
4	FMF verao10	Mar_391	60	62,183 €	- 0,910 €
4	M2 componente6	Mar_413	76	103,478 €	- €
4	FMF verao2	Mar_376	40	41,583 €	- 5,222 €
4	FMF verao13	Mar_383	38	40,105 €	- 5,594 €
4	workoff1	Mar_436	19	10,768 €	- €
<b>Total</b>				<b>493,945 €</b>	<b>3,483 € (0,70%)</b>
<b>Poupança Anual</b>				<b>1.132,070 €</b>	

No último caso deste cenário (Tabela 5.12), que corresponde à combinação dos últimos dois casos, obteve-se uma poupança de custos bastante mais significativa. A poupança anual de 18.260,17 euros na Misturadora 4, consequente da redução de 11,3% no custo total da respetiva ordem de produção, se for possível ser verificada nas restantes misturadoras, corresponde a uma poupança que se aproxima dos 165.000,00 euros por ano.

É de realçar ainda, por observação dos resultados da tabela abaixo, que os compostos mais caros do Caso Base já referidos, M1 componente6 e M2 componente6, coincidem com a maior poupança no custo de produção dos compostos deste cenário, logo, sempre que for possível, estes compostos devem ser produzidos na Misturadora 2.

**Tabela 5.12** - Ordem de produção de compostos do Caso 3 do Cenário 3 (Misturadora 4, dia 06-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

<b>Caso 3 - Cenário 3</b>					
<b>Misturadora</b>	<b>Composto</b>	<b>Corrida</b>	<b>Nº Batches</b>	<b>Custo (€)</b>	<b>Poupança</b>
5	M1 componente7	Mar_440	37	44,602 €	9,147 €
2	M1 componente6	Mar_404	60	65,780 €	28,471 €
4	R1 componente10	Mar_390	19	25,548 €	3,628 €
5	M1 componente7	Mar_365	58	77,301 €	- 3,440 €
4	FMF verao10	Mar_391	60	62,183 €	- 0,910 €
2	M2 componente6	Mar_413	76	77,459 €	26,018 €
3	FMF verao2	Mar_376	40	41,000 €	- 4,639 €
1	FMF verao13	Mar_383	38	36,601 €	- 2,089 €
4	workoff1	Mar_436	19	10,768 €	- €
<b>Total</b>				<b>441,243 €</b>	<b>56,185 € (11,30%)</b>
<b>Poupança Anual</b>				<b>18.260,172 €</b>	

### 5.2.4 - Cenário 4

Este Cenário 4 coincide com as ordens de produção do composto FMF verao26, em todas as misturadoras que pode ser produzido, ao longo dos três meses sobre os quais incidu o estudo desta dissertação. Neste cenário, ao contrário dos anteriores, apenas é analisado um caso de gestão energética do Caso Base, correspondente ao Caso 1, isto é, a alocação da produção do composto para a misturadora mais eficiente, uma vez que por se tratar de um composto específico, o custo total das respetivas ordens de produção deve incluir todos os períodos tarifários.

Na Tabela 5.12, relativa ao Caso Base deste cenário, é apresentada uma parte das ordens de produção com os custos de produção das diferentes corridas realizadas, e o respetivo custo total.

**Tabela 5.13** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso Base do Cenário 4 (composto FMF verao26, todas as misturadoras, três meses), com determinação do custo energético total do mesmo.

Caso Base - Cenário 4				
Misturadora	Composto	Corrida	Nº <i>Batches</i>	Custo
1	FMF verao26	Jan_1660	48	50,108 €
3	FMF verao26	Jan_534	60	56,420 €
3	FMF verao26	Jan_810	50	54,314 €
...	...	...	...	...
4	FMF verao26	Mar_1438	79	76,104 €
4	FMF verao26	Mar_1527	59	55,230 €
4	FMF verao26	Mar_1607	27	25,386 €
Total				6.559,442 €

**Tabela 5.14** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 4 (composto FMF verao26, todas as misturadoras, três meses), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

Caso 1 - Cenário 4					
Misturadora	Composto	Corrida	Nº <i>Batches</i>	Custo	Poupança
1	FMF verao26	Jan_1660	48	50,108 €	- €
1	FMF verao26	Jan_534	60	55,478 €	0,943 €
1	FMF verao26	Jan_810	50	53,407 €	0,907 €
...	...	...	...	...	...
1	FMF verao26	Mar_1438	79	70,883 €	5,220 €
1	FMF verao26	Mar_1527	59	51,441 €	3,789 €
1	FMF verao26	Mar_1607	27	23,645 €	1,741 €
Total				5.729,660 €	829,782 € (12,65%)
Poupança Anual				2.987,216 €	

Pela tabela anterior verifica-se que o Caso 1 correspondeu a passar a produção do composto FMF verao26, exclusivamente, para a Misturadora 1, pois esta é a mais eficiente

entre as disponíveis para produzir este composto (misturadoras 0, 1, 3 e 4), tal como foi demonstrado no capítulo anterior. A alteração aplicada às ordens de produção levou a uma redução do custo total das mesmas de 12,65% em relação ao Caso Base, correspondendo a uma poupança anual estimada em 2.987,22 euros na produção deste composto. Considerando que 86 dos compostos analisados podem ser produzidos em mais do que uma misturadora, se for possível verificar esta redução em todos estes compostos, a poupança anual será bastante mais significativa.

### 5.2.5 - Cenário 5

Para ser possível averiguar o custo energético total de um dia de laboração de todas as misturadoras da área da Misturação, analisou-se o Cenário 5 que é relativo às ordens de produção de todas as misturadoras do dia 18 de fevereiro de 2014. No Caso Base deste cenário obteve-se um custo total de 3.809,26 euros.

**Tabela 5.15** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso Base do Cenário 5 (todas as misturadoras, dia 18-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo.

Caso Base - Cenário 5				
Misturadora	Composto	Corrida	Nº <i>Batches</i>	Custo
0	F1 componente7	Fev_1142	51	34,646 €
0	FMF componente1	Fev_1188	39	35,223 €
0	FMF componente2	Fev_1162	47	44,479 €
...	...	...	...	...
9	FMO componente8.1	Fev_1175	150	317,976 €
0	FMF verao22	Fev_1194	40	42,868 €
0	FMF verao26	Fev_1169	50	54,787 €
<b>Total</b>				<b>3.809,259 €</b>

**Tabela 5.16** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 5 (todas as misturadoras, dia 18-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

Caso 1 - Cenário 5					
Misturadora	Composto	Corrida	Nº <i>Batches</i>	Custo	Poupança
3	F1 componente7	Fev_1142	51	32,783 €	1,863 €
0	FMF componente1	Fev_1188	39	35,223 €	- €
0	FMF componente2	Fev_1162	47	44,479 €	- €
...	...	...	...	...	...
9	FMO componente8.1	Fev_1175	150	317,976 €	- €
1	FMF verao22	Fev_1194	40	34,256 €	8,613 €
1	FMF verao26	Fev_1169	50	44,594 €	10,192 €
<b>Total</b>				<b>3.695,104 €</b>	<b>114,154 € (3,00%)</b>
<b>Poupança Anual</b>				<b>37.100,054 €</b>	



Com as alterações feitas no Caso 1 (Tabela 5.16) em relação à misturadora escolhida para produzir cada composto, verificou-se uma redução de 3% em relação ao custo total do Caso Base, obtendo-se assim, uma poupança de 37.100,05 euros por ano em todas as misturadoras. Este valor é consideravelmente mais baixo que o estimado para todas as misturadoras através dos resultados obtidos para os primeiros cenários (1, 2 e 3), pois algumas das misturadoras escolhidas já correspondem à mais eficiente para produzir determinados compostos, e para estes não é feita qualquer alteração.

Mais uma vez, por observação dos resultados do Caso 2 na tabela abaixo, a alocação da produção dos compostos que têm necessidades energéticas superiores para períodos de energia mais barata conduz a uma redução do custo total das ordens de produção pouco significativa, ainda que positiva.

**Tabela 5.17** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 2 do Cenário 5 (todas as misturadoras, dia 18-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

Caso 2 - Cenário 5					
Misturadora	Composto	Corrida	Nº Batches	Custo (€)	Poupança
0	FMF verao6	Fev_1135	31	27,882 €	1,749 €
0	FMF verao26	Fev_1169	50	45,957 €	8,830 €
0	FMF verao22	Fev_1194	41	35,763 €	7,106 €
...	...	...	...	...	...
9	FMO componente8.1	Fev_1175	150	291,494 €	26,482 €
9	FMO componente12.1	Fev_1140	140	279,689 €	- 31,987 €
9	FMO componente11.1	Fev_1164	40	81,033 €	2,686 €
Total				3.778,828 €	30,430 € (0,80%)
Poupança Anual				9.889,843 €	

**Tabela 5.18** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 3 do Cenário 5 (todas as misturadoras, dia 18-02-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

Caso 3 - Cenário 5					
Misturadora	Composto	Corrida	Nº Batches	Custo (€)	Poupança
1	FMF verao6	Fev_1135	31	22,617 €	7,014 €
1	FMF verao26	Fev_1169	50	37,407 €	17,380 €
1	FMF verao22	Fev_1194	41	28,578 €	14,291 €
...	...	...	...	...	...
9	FMO componente8.1	Fev_1175	150	291,494 €	26,482 €
9	FMO componente12.1	Fev_1140	140	279,689 €	- 31,987 €
9	FMO componente11.1	Fev_1164	40	81,033 €	2,686 €
Total				3.668,984 €	140,275 € (3,68%)
Poupança Anual				45.589,244 €	

Não obstante, como já foi verificado nos outros cenários, no Caso 3, correspondente à alocação da produção dos compostos para a misturadora mais eficiente respetiva tendo como base a gestão energética já realizada no Caso 2, é possível obter uma poupança de custos energéticos mais evidente, de, aproximadamente, 45.589,24 euros por ano. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 5.18, apresentada anteriormente.

### 5.2.6 - Cenário 6

O Cenário 6 corresponde à análise das ordens de produção de todas as misturadoras realizadas na semana de 10 a 16 de março de 2014.

Para o Caso Base, o custo total das ordens de produção foi de 24.312,34 euros.

**Tabela 5.19** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso Base do Cenário 6 (todas as misturadoras, semana de 10-03-2014 a 16-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo.

Caso Base - Cenário 6				
Misturadora	Composto	Corrida	Nº Batches	Custo
...	...	...	...	...
1	FMF verao16	Mar_711	59	52,841 €
1	FMF verao12	Mar_722	39	32,933 €
1	FMF verao20	Mar_733	38	31,677 €
...	...	...	...	...
5	M1 base2	Mar_706	60	108,483 €
5	R1 base2	Mar_714	31	40,820 €
5	R1 componente10	Mar_719	35	52,374 €
...	...	...	...	...
<b>Total</b>				<b>24.312,341 €</b>

Após a gestão energética do Caso Base, consequente das alterações respetivas ao Caso 1, foi possível verificar uma redução de 4,62%, obtendo-se um custo total 23.189,02 euros, tal como é possível constatar na Tabela 5.20 exposta em seguida. Esta redução traduz-se numa poupança anual de 52.009,88 euros por ano, que, apesar de ser superior ao valor do cenário anterior, continua a ser inferior ao valor estimado nos cenários correspondentes a um dia de laboração de misturadoras específicas.

No Caso 2 deste cenário (Tabela 5.21), obteve-se uma redução de 1,83% em relação ao Caso Base, que corresponde a uma poupança anual estimada em 20.617,67 euros. Este valor apesar de estar associado a uma redução de custos pouco significativa, deve ser considerado importante, uma vez que esta poupança é apenas consequente da alteração do período tarifário em que foram produzidos os compostos, sem alocação desta produção a outras misturadoras.

**Tabela 5.20** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 6 (todas as misturadoras, semana de 10-03-2014 a 16-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

Caso 1 - Cenário 6					
Misturadora	Composto	Corrida	Nº Batches	Custo	Poupança
...	...	...	...	...	...
4	FMF verao16	Mar_711	59	50,762 €	2,078 €
3	FMF verao12	Mar_722	39	30,800 €	2,133 €
3	FMF verao20	Mar_733	38	31,093 €	0,584 €
...	...	...	...	...	...
5	M1 base2	Mar_706	60	108,483 €	- €
4	R1 base2	Mar_714	31	28,592 €	12,229 €
4	R1 componente10	Mar_719	35	48,087 €	4,287 €
...	...	...	...	...	...
Total				23.189,018 €	1.123,323 € (4,62%)
Poupança anual				52.009,875 €	

**Tabela 5.21** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 2 do Cenário 6 (todas as misturadoras, semana de 10-03-2014 a 16-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

Caso 2 - Cenário 6					
Misturadora	Composto	Corrida	Nº Batches	Custo	Poupança
...	...	...	...	...	...
1	FMF componente10	Mar_1078	58	47,019 €	- 8,381 €
1	FMF componente10	Mar_900	60	46,137 €	- 2,196 €
1	FMF base1	Mar_1032	97	74,485 €	0,409 €
...	...	...	...	...	...
5	R1 base2	Mar_988	30	39,504 €	- 5,545 €
5	R1 componente10	Mar_1016	36	52,853 €	1,017 €
5	M1 verao7	Mar_1137	40	74,868 €	0,181 €
...	...	...	...	...	...
Total				23.867,035 €	445,306 € (1,83%)
Poupança anual				20.617,673 €	

Para concluir este cenário, no Caso 3, após alteração da misturadora escolhida para produzir os compostos já organizados quanto ao seu consumo específico nos períodos tarifários mais apropriados, verifica-se nos resultados da Tabela 5.22 que é possível obter uma poupança anual equivalente a 71.986,90 euros, que é um valor bem mais pronunciado em relação aos casos anteriores, e que se aproxima mais das estimativas dos cenários iniciais.

**Tabela 5.22** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 3 do Cenário 6 (todas as misturadoras, semana de 10-03-2014 a 16-03-2014), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

Caso 3 - Cenário 6					
Misturadora	Composto	Corrida	Nº <i>Batches</i>	Custo	Poupança
...	...	...	...	...	...
1	FMF componente10	Mar_1078	58	47,019 €	- 8,381 €
1	FMF componente10	Mar_900	60	46,137 €	- 2,196 €
1	FMF base1	Mar_1032	97	74,485 €	0,409 €
...	...	...	...	...	...
4	R1 base2	Mar_988	30	27,670 €	6,289 €
4	R1 componente10	Mar_1016	36	48,526 €	5,344 €
6	M1 verao7	Mar_1137	40	71,630 €	3,420 €
...	...	...	...	...	...
Total				22.757,549 €	1.554,793 € (6,40%)
Poupança anual				71.986,896 €	

### 5.2.7 - Cenário 7

Este cenário corresponde às ordens de produção de compostos da Misturadora 7 durante o todo o mês de janeiro de 2014. Os compostos incluídos nestas são os das fases *Master Batch* e *Remill*.

Na análise do Caso Base do presente cenário (Tabela 5.23) obteve-se um custo total das respetivas ordens de produção de 16.302,96 euros, onde os custos de produção das corridas mais elevados equivalem aos compostos das fases *Master Batch*.

**Tabela 5.23** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso Base do Cenário 7 (Misturadora 7, mês de janeiro), com determinação do custo energético total do mesmo.

Caso Base - Cenário 7				
Misturadora	Composto	Corrida	Nº <i>Batches</i>	Custo
7	M1 verao18	Jan_9	30	78,458 €
7	R1 verao18	Jan_16	30	39,946 €
7	M1 verao16	Jan_18	50	118,484 €
...	...	...	...	...
7	M1 verao10	Jan_1894	50	111,038 €
7	M1 verao24	Jan_1903	50	109,576 €
7	R1 verao24	Jan_1915	21	23,298 €
Total				16.302,960 €

Após aplicadas as alterações à misturadora escolhida, consequentes da gestão energética feita no Caso 1 (Tabela 5.24), constatou-se uma redução do custo total das ordens de produção de 5,52%, correspondendo a uma poupança anual de 9.636,78 euros, na Misturadora

7. Tal como nos cenários iniciais, assumindo a possibilidade de esta redução se verificar nas restantes misturadoras, a poupança decorrente desta gestão energética pode ser estimada em, aproximadamente, 87.000,00 euros por ano, que vai de encontro aos valores já estimados.

**Tabela 5.24** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 7 (Misturadora 7, mês de janeiro), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

<b>Caso 1 - Cenário 7</b>					
<b>Misturadora</b>	<b>Composto</b>	<b>Corrida</b>	<b>Nº <i>Batches</i></b>	<b>Custo</b>	<b>Poupança</b>
6	M1 verao18	Jan_9	30	75,366 €	3,091 €
6	R1 verao18	Jan_16	30	38,765 €	1,182 €
5	M1 verao16	Jan_18	50	105,906 €	12,578 €
...	...	...	...	...	...
6	M1 verao10	Jan_1894	50	97,958 €	13,080 €
6	M1 verao24	Jan_1903	50	109,528 €	0,047 €
7	R1 verao24	Jan_1915	21	23,298 €	- €
<b>Total</b>				<b>15.402,326 €</b>	<b>900,634 € (5,52%)</b>
<b>Poupança Anual</b>				<b>9.636,783 €</b>	

No Caso 2, exposto da tabela abaixo, com a alocação da produção dos compostos para períodos tarifários mais adequados, com base no seu consumo energético específico, obteve-se uma redução do custo total das ordens de produção de 0,68%, que equivale a uma poupança que ronda os 1.182,29 euros por ano. Ao se considerar, também neste caso, que esta redução pode ser verificada em todas as misturadoras, a poupança consequente aproxima-se dos 10.000,00 euros por ano, que ainda assim é um valor reduzido em relação à grandeza dos valores da faturação anual da empresa.

**Tabela 5.25** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 2 do Cenário 7 (Misturadora 7, mês de janeiro), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

<b>Caso 2 - Cenário 7</b>					
<b>Misturadora</b>	<b>Composto</b>	<b>Corrida</b>	<b>Nº <i>Batches</i></b>	<b>Custo</b>	<b>Poupança</b>
7	R1 verao8	Jan_1355	31	37,690 €	8,232 €
7	M1 verao8	Jan_245	40	96,140 €	15,642 €
7	M1 verao13	Jan_1553	80	181,190 €	- 25,263 €
...	...	...	...	...	...
7	R1 verao24	Jan_1862	33	38,828 €	- 7,355 €
7	R1 verao8	Jan_1784	30	43,151 €	0,170 €
7	R1 componente10	Jan_1467	40	59,060 €	0,804 €
<b>Total</b>				<b>16.192,465 €</b>	<b>110,495 € (0,68%)</b>
<b>Poupança Anual</b>				<b>1.182,294 €</b>	

**Tabela 5.26** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 3 do Cenário 7 (Misturadora 7, mês de janeiro), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

<b>Caso 3 - Cenário 7</b>					
<b>Misturadora</b>	<b>Composto</b>	<b>Corrida</b>	<b>Nº <i>Batchs</i></b>	<b>Custo</b>	<b>Poupança</b>
6	R1 verao8	Jan_1355	31	33,203 €	12,718 €
6	M1 verao8	Jan_245	40	84,221 €	27,561 €
7	M1 verao13	Jan_1553	80	181,190 €	- 25,263 €
...	...	...	...	...	...
7	R1 verao24	Jan_1862	33	38,828 €	- 7,355 €
6	R1 verao8	Jan_1784	30	38,015 €	5,307 €
4	R1 componente10	Jan_1467	40	54,956 €	4,909 €
<b>Total</b>				<b>15.304,867 €</b>	<b>998,093 € (6,12%)</b>
<b>Poupança Anual</b>				<b>10.679,592 €</b>	

Para finalizar a análise dos casos do Cenário 7, no Caso 3 (Tabela 5.26), relativo à combinação da gestão energética dos dois casos anteriores, determinou-se um custo total das ordens de produção de 15.304,87 euros, que corresponde a uma redução de 6,12% em relação ao valor do Caso Base. Esta redução equivale a uma poupança anual que se aproxima dos 10.679,59 euros, na Misturadora 7. Se, novamente, for assumido que esta poupança possa ser verificada nas restantes misturadoras do setor, o seu valor pode aproximar-se dos 96.000,00 euros por ano.

### 5.2.8 - Cenário 8

O último cenário considerado corresponde às ordens de produção executadas em todas as misturadoras durante o mês de fevereiro de 2014.

Relativamente ao Caso Base, determinou-se um custo total das ordens de produção de 107.691,68 euros.

**Tabela 5.27** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso Base do Cenário 8 (todas as misturadoras, mês de fevereiro), com determinação do custo energético total do mesmo.

<b>Caso Base - Cenário 8</b>				
<b>Misturadora</b>	<b>Composto</b>	<b>Corrida</b>	<b>Nº <i>Batchs</i></b>	<b>Custo</b>
0	FMF componente5	Fev_1	99	68,098 €
3	FMF verao26	Fev_2	60	45,817 €
5	M2 componente6	Fev_4	75	83,514 €
...	...	...	...	...
2	M2 componente10	Fev_1998	32	39,388 €
0	FMF verao6	Fev_1999	17	17,697 €
4	FMF verao13	Fev_2002	5	4,534 €
<b>Total</b>				<b>107.691,683 €</b>

É importante referir que o custo total das ordens de produção do Caso Base deste cenário corresponde também a uma estimativa da quantia paga pela empresa, associada ao consumo de energia elétrica consequente da produção de compostos na área da Misturação no mês de fevereiro.

Como foi referido no início do presente capítulo, neste cenário apenas se analisou o Caso 1 de gestão energética das ordens de produção, e neste, após a alocação da produção de determinados compostos para a misturadora mais eficiente, verificou-se uma redução do custo total de 4,3%, que equivale a uma poupança anual de 49.497,02 euros, em todas as misturadoras. Tendo em consideração as estimativas realizadas nos cenários iniciais para a poupança em todas as misturadoras, este valor é mais baixo, mas mais realista. No entanto, apesar de não ter sido analisado neste cenário, se fosse combinado com este caso, a alocação da produção dos compostos que consomem mais energia para os períodos em que a energia é mais barata, o valor da poupança seria ligeiramente superior.

**Tabela 5.28** - Parte das ordens de produção de compostos do Caso 1 do Cenário 8 (todas as misturadoras, mês de fevereiro), com determinação do custo energético total do mesmo e respetiva poupança.

<b>Caso 1 - Cenário 8</b>					
<b>Misturadora</b>	<b>Composto</b>	<b>Corrida</b>	<b>Nº <i>Batches</i></b>	<b>Custo</b>	<b>Poupança</b>
0	FMF componente5	Fev_1	99	68,098 €	- €
1	FMF verao26	Fev_2	60	45,052 €	0,766 €
2	M2 componente6	Fev_4	75	60,581 €	22,933 €
...	...	...	...	...	...
2	M2 componente10	Fev_1998	32	39,388 €	- €
1	FMF verao6	Fev_1999	17	14,355 €	3,342 €
1	FMF verao13	Fev_2002	5	4,138 €	0,396 €
<b>Total</b>				<b>103.065,793 €</b>	<b>4.625,890 € (4,30%)</b>
<b>Poupança Anual</b>				<b>49.497,021 €</b>	

### 5.2.9 - Resumo das poupanças de custos de produção

Considerando que as poupanças verificadas em todos os cenários podem ser aplicadas a toda a Área da Misturação, é possível resumir os resultados obtidos para os diferentes casos da seguinte forma:

- No caso em que apenas se altera a misturadora para produzir os compostos para a mais eficiente (Caso 1) é possível alcançar, em média, uma poupança de 81.000 euros por ano, que corresponde a uma redução de 6,3% em relação ao custo total das ordens de produção originais;

- Em relação ao caso em que se aloca a produção dos compostos que consomem mais energia para os períodos em que a energia é mais barata, e vice-versa (Caso 2), é possível atingir uma poupança média de 11.700 euros por ano, que corresponde a uma redução de 1% em relação ao custo total das ordens de produção;
- No último caso analisado (Caso 3), onde se aloca a produção dos compostos para a misturadora mais eficiente após alocação da mesma produção para o período de energia mais barato, consegue-se atingir uma poupança média de 95.300 euros por ano, correspondendo a uma redução do custo total das ordens de produção de, aproximadamente, 7,3%.

### 5.3 - Processo de Gestão Energética das Ordens de Produção de Compostos

Na Área da Misturação são os supervisores que organizam as diferentes ordens de produção de compostos para cada turno de 8 horas. Estes são responsáveis pela decisão de qual a misturadora a utilizar na produção de cada composto, assim como o período no qual estes serão produzidos. Cada supervisor organiza o seu turno, incluindo as duas primeiras horas do turno seguinte. As ordens de produção são organizadas com base nas necessidades de compostos das áreas seguintes da linha de produção da fábrica.

Assim, de forma a explicar o processo adotado nos diferentes casos de gestão energética das ordens de produção de compostos analisados na secção anterior, serão apresentados os passos que devem ser seguidos pelos supervisores para garantir uma redução de custos de energia elétrica, sem comprometer a resposta às necessidades da Produção. Estes passos devem ser auxiliados pela consulta das tabelas que contemplam a classificação do consumo médio de cada composto (Tabela A.2.1 até Tabela A.2.4), assim como o consumo energético específico por misturadora (kWh/ton) de cada composto, com a misturadora mais eficiente devidamente destacada (Tabela A.4.1 até Tabela A.4.4).

Os passos a seguir são:

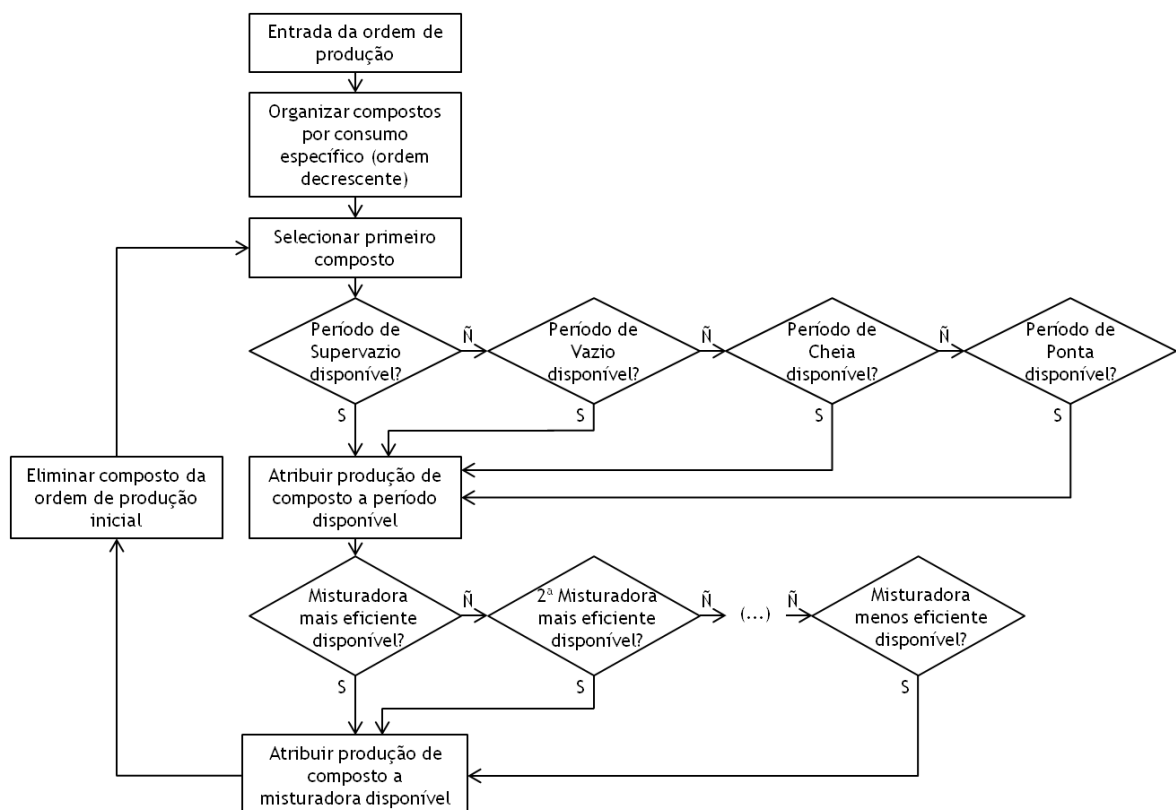
1. Em cada ordem de produção, organizar os compostos por ordem decrescente quanto ao seu consumo energético médio;
2. Atribuir a produção dos compostos que consomem mais energia às horas de Supervazio, e quando este período estiver “esgotado”, passar às horas de Vazio, e assim por diante até organizar toda a ordem de produção, de maneira a que os compostos que consomem menos energia sejam produzidos nas horas de Cheia, ou Ponta, evitando estas últimas;
3. Na impossibilidade de atribuir a produção completa de uma corrida de um composto energeticamente mais caro a um período de energia mais barata, deve



- ser tido em conta o número de *batches* a produzir e tentar que seja produzido a maior quantidade possível destes nesse mesmo período;
4. Se a ordem de produção corresponder ao primeiro turno, o supervisor do mesmo deve atribuir a misturadora mais eficiente à produção de cada composto;
5. Na situação de ser um turno intermédio, a produção dos compostos deve ser alocada à misturadora disponível mais eficiente;
6. Não estando disponível a misturadora mais eficiente para um determinado, a produção deste deve ser alocada para a misturadora mais eficiente seguinte;
7. Os compostos que podem ser produzidos na Misturadora 9, do tipo *Tandem*, devem ser sempre produzidos nesta;
8. Devem ser evitados intervalos entre os processos de produção de compostos de longa duração na mesma misturadora, isto é, evitar paragens de funcionamento.

Estas passos aqui apresentados foram os adotados no processo de análise de cada caso dos cenários anteriores, que conduziram à demonstração do potencial de poupança de custos energéticos da Área da Misturação.

Para simplificar o processo de gestão descrito nos passos anteriores foi construído o fluxograma presente na figura seguinte.



**Figura 5.1** - Fluxograma simplificado dos passos descritos, que serve de base para uma possível aplicação de gestão energética das ordens de produção de compostos.

Contudo, seria interessante considerar a construção de uma aplicação de otimização do processo de gestão energética das ordens de produção, com base no fluxograma da Figura 5.1, mas na realidade atual da Área da Misturação não é viável, uma vez que existem muitas implicações e/ou variáveis não controláveis, pois trata-se de um processo que depende da subjetividade do supervisor de cada turno, e da maneira que habitualmente organiza as ordens de produção sem comprometer a resposta às necessidades de compostos das áreas seguintes da linha de produção da fábrica.

## Capítulo 6

# Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro

Este capítulo de desfecho destina-se à descrição final do trabalho desenvolvido nesta dissertação. Será dividido em duas secções, onde na primeira será feito um resumo de todo o trabalho, seguido de todas as conclusões obtidas e melhoramentos consequentes, e ainda as dificuldades encontradas. Enquanto na segunda secção, será feita a identificação de possíveis desenvolvimentos futuros relacionados com o estudo realizado.

### 6.1 - Conclusões

O estudo desenvolvido neste trabalho foi conduzido de forma a concretizar todos os objetivos enunciados inicialmente. Através dos conteúdos expostos nos capítulos anteriores verificou-se o sucesso dos mesmos.

A boa integração na empresa e a rápida aquisição de conhecimentos relativos aos processos de fabrico da mesma foram uma fase bastante importante para impulsionar o trabalho propriamente dito.

Depois de conhecido o problema a resolver com esta dissertação, que estava relacionado com a área da Misturação, aferiu-se, junto dos colaboradores da área, que os motores principais das misturadoras correspondiam aos maiores consumidores de energia elétrica da mesma, e que seriam os consumos destes diretamente influenciados pelos diferentes produtos finais, isto é, pelos diferentes compostos a produzir. Assim, definiu-se que os consumos específicos de cada processo de produção seriam determinados com base no cruzamento dos consumos verificados nas centrais de medida ligadas a estes motores com os dados das ordens de produção de compostos.

Após a adaptação aos *softwares* necessários para a recolha dos dados de consumos de energia dos motores das misturadoras (*Messdas*) e de ordens de produção de compostos

(*Mixer Control Center*) procedeu-se então à recolha, processamento e análise dos mesmos. Após o paralelismo entre ambos, foi possível determinar os consumos específicos de energia do processo de produção de cada composto, em média e em cada uma das misturadoras. Com estes consumos específicos definiram-se indicadores de desempenho para cada um destes processos, assim como uma metodologia de avaliação periódica dos mesmos.

A partir dos resultados obtidos para os consumos específicos de cada composto e dos custos de energia associados, analisaram-se alguns cenários de ordens de produção, e procedeu-se à aplicação de medidas de gestão energética aos mesmos, para demonstrar a possibilidade de poupança de custos existente na área da Misturação.

Em relação à fase de recolha de dados, constatou-se que o programa de controlo da Misturação, o *Mixer Control Center*, é muito limitado em relação à extração de determinados tipos de dados das ordens de produção de compostos (apenas tempos e quantidades), o que dificultou a justificação de algumas variações de consumos de energia verificados.

Inicialmente o processamento dos dados foi uma tarefa complexa e morosa, pois estava a ser realizado de forma manual. No entanto, este entrave foi derrubado com a aprendizagem da linguagem de programação VBA, que permitiu a construção de rotinas capazes de processar e organizar os dados recolhidos, facilitando a sua análise e a posterior determinação de resultados relativos aos consumos específicos, mas não só.

Na análise dos dados já processados concluiu-se que a variação do consumo de energia de cada processo tinha um comportamento linear, que levou a que se optasse por determinar as curvas características de consumo de cada processo através de sucessivas regressões lineares. Aferiu-se que o declive de cada uma das curvas obtidas correspondia ao consumo específico por *batch* de cada corrida de produção de cada composto, nas diferentes misturadoras. Pela mesma lógica, o valor da ordenada na origem das curvas corresponderia ao valor de energia verificado no início do processo de produção, no entanto este foi ignorado, uma vez que nos intervalos de registo do consumo de energia podia ser incluído ainda o fim da corrida anterior, de outro composto qualquer, e por esta razão, o valor apresentava uma variação não controlável.

Ainda na análise das curvas características verificou-se existirem compostos que no período de tempo sobre o qual incidiu este estudo, foram produzidos em reduzidas quantidades ou poucas vezes, o que levou a concluir que os resultados obtidos para estes compostos seriam de menor fiabilidade do que aqueles compostos produzidos frequentemente. No entanto, os respetivos resultados não foram excluídos.

O último procedimento, anterior à determinação de resultados, coincidiu com identificação e posterior eliminação de dados inconsistentes. Estes dados foram identificados visualmente nos gráficos construídos das curvas características de consumo das corridas de cada composto, onde facilmente se destacavam por apresentarem um comportamento diferente da grande maioria das outras corridas. Depois de identificados as curvas e os dados inconsistentes correspondentes, os mesmos foram eliminados. Nesta etapa aferiu-se que a

existência destes dados, apesar de ser normal em séries temporais de dados, deve-se maioritariamente a falhas nas centrais de medida de consumos de energia dos motores principais das misturadoras, mas também podem estar relacionados com falhas técnicas nos diferentes componentes das misturadoras.

Relativamente aos resultados obtidos, numa primeira parte analisou-se qual a misturadora mais utilizada para produzir cada composto, durante o período de estudo, em comparação com a misturadora mais eficiente para o mesmo efeito. Concluiu-se que na maioria dos compostos a misturadora utilizada não coincide com a mais eficiente, o que leva a consumos de energia excessivos que podiam ser evitados facilmente.

Depois, analisaram-se os resultados para os consumos médios da produção de um *batch* e de uma tonelada de um composto aleatório nas nove misturadoras. A partir destes compreendeu-se que entre as misturadoras disponíveis para produzir compostos da fase *Final Mix* (misturadoras 0, 1 e 3), constatou-se que as misturadoras 1 e 3 são cerca de 20% energeticamente mais eficientes em relação à Misturadora 0, sendo a Misturadora 1 a mais eficiente. No que toca às misturadoras específicas das fases *Master Batch* e *Remill*, a Misturadora 2 apresentou um consumo médio inferior (30%) às outras (4,5,6, e 7). Entre as misturadoras 5, 6 e 7, a Misturadora 5 apresentou um consumo 10% mais baixo, enquanto a 6 e a 7, consumos idênticos. No que concerne à Misturadora 9 (misturadora *tandem*), constatou-se que esta apresentou um consumo médio por *batch* 35% superior a todas as misturadoras, mas comparado com o consumo acumulado da produção de um *batch* das diferentes fases desse composto nas outras misturadoras, o valor é inferior, pois os compostos da Misturadora 9 necessitam apenas de uma única fase de produção para serem concluídos. Verificou-se ainda que o consumo energético por tonelada da Misturadora 9 é inferior (20%), pois o peso por *batch* dos compostos produzidos nesta é consideravelmente superior ao dos outros compostos, uma vez que precisam apenas de uma única fase de produção.

Em seguida passou-se aos resultados dos consumos específicos de energia do processo de produção dos compostos. Primeiro analisou-se os consumos médios, isto é, independentes da misturadora utilizada, onde se comparou o consumo verificado entre os compostos correspondentes a diferentes fases, para cada tipo de composto. Então, aferiu-se que os compostos das fases *Master Batch*, 1 e 2 respetivamente, são os que consomem mais energia, seguidos dos compostos da fase *Remill*, e finalmente pelos compostos da fase *Final Mix*.

Com base nos valores verificados para estes consumos médios de cada composto, atribuiu-se uma classificação de consumo baixo para compostos com valores até 80 kWh/ton, de consumo médio entre 80 kWh/ton até 160 kWh/ton, e consumo elevado de 160 kWh/ton até 190 kWh/ton. Chegou-se à conclusão que todos os compostos *Final Mix* e *Workoff* e alguns *Remill* corresponderam a um consumo baixo, os compostos *Master Batch* do tipo de componentes do pneu e alguns pisos obtiveram a classificação de consumo médio, e finalmente, os restantes compostos *Master Batch* de pisos com um consumo elevado. Esta

classificação demonstrou-se como uma ferramenta auxiliar útil para os supervisores da área da Misturação na organização das ordens de produção de compostos.

Os resultados seguintes corresponderam à determinação dos valores dos consumos energéticos específicos da produção de cada composto em cada uma das misturadoras disponíveis para os mesmos. Nesta fase concluiu-se que entre os compostos que podem ser produzidos em mais do que uma misturadora, existe sempre uma mais eficiente que as outras, garantindo uma poupança energética no processo de produção desses mesmos compostos sempre que forem produzidos nessa misturadora.

Com o intuito de quantificar financeiramente os consumos verificados anteriormente, utilizaram-se as tarifas de eletricidade aplicadas nos três meses do estudo, para os quatro períodos tarifários, e determinaram-se os custos energéticos para os processos de produção dos compostos, médios e por misturadora. Estes resultados revelaram-se úteis para poder avaliar os custos resultantes da posterior gestão energética de cenários de produção.

Em relação aos indicadores de desempenho definidos para os processos de produção de compostos observaram-se variações dos valores de consumo verificados em relação aos valores referência. As variações dos indicadores de consumos médios de compostos produzidos em diferentes misturadoras facilmente se justificaram pela diferença entre os consumos verificados em cada uma destas. No entanto, observaram-se variações dos valores dos indicadores da produção do mesmo composto na mesma misturadora, que foram justificadas com o estudo de variáveis de causalidade não quantificadas, tal como as propriedades físicas das matérias-primas e o tempo de armazenamento dos compostos das fases iniciais, usados na produção dos compostos da fase final. Estes indicadores destacaram-se pela sua possível integração num sistema de avaliação de desempenho dos processos de produção da área da misturação, que por sua vez deve ser integrado no sistema de avaliação de desempenho energético da fábrica já existente.

No último capítulo da dissertação analisaram-se os custos totais de vários cenários de ordens de produção de compostos, correspondentes a diferentes intervalos de tempo (um dia, uma semana, um mês e 3 meses), para uma misturadora aleatória e para todas as misturadoras disponíveis. Nos diferentes cenários consideraram-se diferentes casos de aplicações de medidas de eficiência energética, de maneira a reduzir os custos de produção. Nos casos em que apenas se alterou a misturadora utilizada para a mais eficiente, verificou-se, na melhor das hipóteses, uma poupança anual de 158.000,00 euros, mas que correspondeu a uma situação menos realista, uma vez que se considerou a poupança verificada apenas numa misturadora, igualmente em todas as outras. Para o mesmo caso de gestão, mas para um cenário mais realista, onde se considerou de início todas as misturadoras, a melhor poupança verificada rondou os 52.000,00 euros por ano. Nos casos em que se alterou a ordem de produção, passando os compostos que consomem mais energia para as horas de energia mais barata e vice-versa, obteve-se como melhor resultado uma poupança anual de, aproximadamente, 20.000,00 euros, para o cenário que se considerou a

poupança de uma misturadora nas restantes. Num cenário mais realista, a poupança anual obtida rondou os 10.000,00 euros. Contudo, tendo em conta os valores faturados anualmente pela empresa, esta poupança é praticamente insignificativa. Já nos casos onde se aplicaram ambas as medidas, onde a alteração da misturadora foi posterior à alteração dos horários das ordens de produção, conferiu-se, no melhor dos cenários, uma poupança anual de 165.000,00 euros, que novamente correspondeu a um cenário onde se generalizou a aplicação da poupança de uma misturadora a todas as outras. No melhor dos cenários onde se considerou inicialmente todas as misturadoras, a poupança anual aproximou-se dos 50.000,00 euros.

Uma das conclusões importantes a reter com a observação destas poupanças conseguintes da implementação de algumas medidas de gestão energética das ordens de produção, é a de que, mesmo apresentando valores pouco preponderantes em relação aos valores faturados anualmente pela empresa, são poupanças possíveis de alcançar com a simples modificação de atitudes e/ou rotinas dos supervisores quando organizam as ordens de produção para cada turno, e que, ainda mais importante, estas medidas dispensam de qualquer investimento.

Em suma, sabendo que o princípio orientador de laboração da fábrica é a maximização da produção aliada ao menor custo, é crucial considerar o potencial de poupança energética existente na área da Misturação, através da implementação das propostas de medidas de eficiência energética demonstradas.

No que respeita à experiência pessoal decorrente da realização do estágio na Continental Mabor, que levou à realização da presente dissertação, este permitiu compreender o impacto da possível articulação do trabalho de exclusiva aplicação prática com a realidade da empresa. Deste estágio retira-se ainda a importante formação a nível profissional, que contribuirá, certamente, para um melhor sucesso no futuro que se avizinha para o autor desta dissertação.

## 6.2 - Perspetivas de Trabalho Futuro

Durantes, e após, o desenvolvimento do estudo de caracterização e gestão energética dos processos de produção da área da Misturação surgiram ideias e perspetivas de novos desenvolvimentos, ou estudos complementares que, pela índole académica e pelos objetivos bem delineados da presente dissertação, tiveram de ser registados e considerados como possíveis trabalhos futuros.

Um dos principais objetivos futuros é a sensibilização da Continental Mabor, e se possível do Grupo Continental, para o potencial de poupança energética existente na área da Misturação, através da gestão das ordens de produção com base no conhecimentos dos consumos específicos de energia de cada processo.

Como a Continental Mabor está em constante expansão das suas infraestruturas e áreas, pretende-se expandir o estudo realizado à nova área da Misturação que engloba, atualmente uma nova misturadora, do tipo *tandem*. No entanto, isto só será possível após a configuração

no sistema de gestão de energia *Messdas* das centrais de medida de consumos de energia relativos aos diferentes componentes desta misturadora, existentes no posto de transformação respetivo.

Outro aspeto que está em constante atualização é a lista de compostos produzidos, o que justificará uma repetição do estudo realizado para os novos compostos, e consequentemente, uma posterior atualização dos indicadores de desempenho relativos ao processo de produção de cada composto.

É também pretensão integrar nos relatórios semanais de consumos de energia os resultados da evolução dos indicadores de desempenho energético dos processos de produção de compostos de cada semana, por composto geral e por misturadora.

Com base nos valores de consumo específico de energia para produzir um *batch* ou uma tonelada de um composto aleatório em cada uma das misturadoras, seria interessante definir alarmes, apenas informativos, para estes consumos no sistema de gestão de energia *Messdas*. Este processo teria ainda mais interesse com a possibilidade de integrar no mesmo sistema, as ordens de produção dos compostos, de maneira a poder identificar o consumo relativo a cada um destes.

Para corroborar, ou melhorar os resultados obtidos para os consumos específicos de energia elétrica do processo de produção de cada composto nas diferentes misturadoras, existem duas perspetivas futuras, ambas promissoras. A primeira hipótese reside na definição de uma nova estrutura de dados a extrair do sistema de controlo da Misturação (*Mixer Control Center*), em comunicação com a empresa fornecedora do mesmo, aliada a uma certificação dos valores de consumos de energia por *batch* fornecidos pelas próprias misturadoras, também recorrendo à empresa responsável, de forma a poder realizar o mesmo estudo de caracterização energética utilizando valores de consumos diretos das misturadoras. A segunda hipótese, ligeiramente menos praticável, consiste na aplicação do estudo desenvolvido nesta dissertação nas áreas de Misturação de outras plantas do Grupo Continental, fora do país.

Considerando ainda a expansão do estudo, seria também um trabalho promissor, o desenvolvimento do mesmo tipo de estudo de caracterização energética de processos de produção, mas aplicado a cada uma das outras áreas de processo da Continental Mabor, tendo em consideração o produto final de cada área.

Finalmente, em relação à gestão energética das ordens de produção, pretende-se desenvolver um estudo de otimização de planeamento das mesmas, com base nos consumos específicos de energia de cada composto, que tem como objetivo principal a criação de uma aplicação que considere, para além dos consumos, todas as outras variáveis não controláveis, que tenha como função ajudar os supervisores de cada turno da área a Misturação a organizar as ordens de produção, sem comprometer quantidade e qualidade, garantindo o custo de produção mais baixo.



## Referências

- [1] BSCD Portugal; ISR - Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Universidade de Coimbra; *Manual de boas práticas para a Eficiência Energética*; 2005; pp. 2-10; [Online] Disponível em: <http://www.bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2014/02/Manual-Eficiência-Energética.pdf>
- [2] ADENE; *Eficiência Energética*; [Online] Disponível em: <http://www.adene.pt/eficiencia-energetica>
- [3] ADENE; *Consumo Energético na Indústria*; [Online] Disponível em: <http://www.adene.pt/consumo-energetico-na-industria>
- [4] Iberdrola; *Manual de Boas Práticas Energéticas*; pp.18-19 ; [Online] Disponível em: [http://www.iberdrola.pt/02sicb/gc/prod/pt\\_PT/aboutus/docs/MANUAL\\_BOAS\\_PRACTICA S.pdf](http://www.iberdrola.pt/02sicb/gc/prod/pt_PT/aboutus/docs/MANUAL_BOAS_PRACTICA S.pdf)
- [5] Sorasio, Gianfranco; *Física da Energia*; IST; 2006; p. 20; [Online] Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571265071/aula1.pdf>
- [6] Ministério da Economia e da Inovação; *Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de abril*; Diário da República, 1.ª série - N.º 74; 2008; [Online] Disponível em: <http://www.adene.pt/sites/default/files/0222202226.pdf>
- [7] Auditene; *Relatório de Execução e Progresso, Anual 2013*; Continental Mabor - Indústria de Pneus S.A.; 2014; Disponível exclusivamente na empresa.
- [8] Vários Autores; *LIFT - Learning Initiative for Tires*; Continental®; 2013; Disponível exclusivamente na empresa.
- [9] Trigo, Filipa; *Relatório de Consumos da Mistura*; Departamento de Energia e Infraestruturas; Continental Mabor - Indústria de Pneus S.A.; atualizado semanalmente; Disponível exclusivamente na empresa.
- [10] ERSE; *Ciclo semanal opcional para os consumidores em MAT, AT e MT em Portugal Continental*; [Online] Disponível em: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/CiclopcionalesconsumidoresMATATMT.aspx>

- [11] Saraiva, João Tomé; *Mercados e Qualidade - Introdução*; FEUP; 2013; pp. 2-7; [Online] Disponível em: [https://sigarra.up.pt/feup/pt/conteudos\\_service.conteudos\\_cont?pct\\_id=160712&pv\\_cod=38ShxAYg3FX2](https://sigarra.up.pt/feup/pt/conteudos_service.conteudos_cont?pct_id=160712&pv_cod=38ShxAYg3FX2)
- [12] Trigo, Filipa; *Relatório Geral de Energia*; Departamento de Energia e Infraestruturas; atualizado semanalmente; Disponível exclusivamente na empresa.
- [13] Jovan, V.; Zorzut, S.; *Use of Key Performance Indicators in Production Management*; Cybernetics and Intelligent Systems; IEEE Conference; 2006; [Online] Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=4017902>
- [14] Lohman, Clemens; Fortuin, Leonard; Wouters, Marc; *Designing a performance measurement system: A case study*; European Journal of Operational Research 156; 2004; pp. 267-286; [Online] Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221702009189>
- [15] Ahmad, M. Munir; Dhafr, Nasreddin; *Establishing and improving manufacturing performance measures*; Robotics and Computer Integrated Manufacturing 18; 2002; pp. 171-176; [Online] Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584502000078>
- [16] Microsoft Developer Network; *Getting Started with VBA in Office 2010*; 2009; [Online] Disponível em: [http://msdn.microsoft.com/EN-US/library/office/ee814735\(v=office.14\).aspx](http://msdn.microsoft.com/EN-US/library/office/ee814735(v=office.14).aspx)
- [17] Microsoft Developer Network; *Getting Started with VBA Development in Office 2010*; 2010; [Online] Disponível em: [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/office/ff986246\(v=office.14\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/office/ff986246(v=office.14).aspx)
- [18] Microsoft Developer Network; *Using Microsoft Excel Worksheet Functions in Visual Basic*; [Online] Disponível em: [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa221602\(v=office.11\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa221602(v=office.11).aspx)
- [19] Schwertman, Neil C.; Silva, Rapti; *Identifying outliers with sequential fences*; Computational Statistics & Data Analysis 51; 2007; pp. 3800-3810; [Online] Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167947306000430>
- [20] Gumedze, Freedom N.; Welhamb, Sue J.; Gogel, Beverley J.; Thompson, Robin; A variance shift model for detection of outliers in the linear mixed model; Computational Statistics and Data Analysis 54; 2010; pp. 2128-2144; [Online] Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167947310001210>
- [21] Menjoge, Rajiv S.; Welsch, Roy E.; *A diagnostic method for simultaneous feature selection and outlier identification in linear regression*; Computational Statistics and Data Analysis 54; 2010; pp. 3181-3193; [Online] Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167947310000794>
- [22] Xiong, Shifeng; Joseph, V. Roshan; *Regression with outlier shrinkage*; Journal of Statistical Planning and Inference 143; 2013; pp. 1988-2001; [Online] Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378375813001444>

# Anexos

## A. Resultados Completos

**Tabela A.1.1** - Identificação da misturadora mais utilizada no processo de fabrico de cada composto versus misturadora mais eficiente para o mesmo processo (compostos FMF base1 até FMF verao5).

Composto	Misturadora mais Utilizada				Misturadora mais Eficiente
	janeiro	fevereiro	março	Média	
FMF base1	1	1	1	1	1
FMF base2	0	1	0	0	1
FMF base3	3	0	3	3	3
FMF componente1	0	0	0	0	0
FMF componente2	0	0	0	0	0
FMF componente3	0	0	0	0	0
FMF componente4	3	3	3	3	3
FMF componente5	0	0	0	0	0
FMF componente6	3	3	3	3	3
F1 componente7	3	3	3	3	3
FMF componente8	1		1	1	1
FMO componente8.1	9	9	9	9	9
FMF componente9	3	0	0	0	1
FMF componente10	1	1	1	1	1
FMF componente11	0			0	1
FMO componente11.1	9	9	9	9	9
FMF componente12	0		0	0	0
FMO componente12.1	9	9	9	9	9
FMF componente13	0	0	0	0	0
FMO componente13.1	9	9	9	9	9
FMF verao1		0	0	0	0
FMF verao2	0	0	0	0	3
FMF verao3	1		1	1	1
FMF verao4	0	0	0	0	3
FMF verao5		0	0	0	0

**Tabela A.1.2** - Identificação da misturadora mais utilizada no processo de fabrico de cada composto versus misturadora mais eficiente para o mesmo processo (compostos FMF verao6 até M1 componente9).

Composto	Misturadora mais Utilizada				Misturadora mais Eficiente
	janeiro	fevereiro	março	Média	
FMF verao6	1	1	1	1	1
FMF verao7	1	1	1	1	3
FMF verao8	1	0	0	0	1
FMF verao9	0	1	0	0	1
FMF verao10	0	1	4	0	4
FMF verao11	1	1	1	1	3
FMF verao12	1	1	0	1	3
FMF verao13	3	3	3	3	1
FMF verao14	0	0	0	0	0
FMF verao15		0	4	4	1
FMF verao16	1	4	4	4	4
FMF verao17		1	0	0	4
FMF verao18	3	4		3	3
FMF verao19	1	3	3	3	3
FMF verao20	3	1	1	1	3
FMF verao21	0	1	0	1	3
FMF verao22	0	0	0	0	1
FMF verao24	1	1	1	1	3
FMF verao25	1	1	1	1	3
FMF verao26	0	0	0	0	1
FMF verao27	0	0	0	0	1
FMF verao28	0	0	1	1	1
FMF inverno1	1	0	1	1	3
FMF inverno2	0	0	0	0	4
FMF inverno3	3	1	4	4	1
FMF inverno4	0	0	1	0	1
FMF inverno5		1	1	1	1
FMF inverno6		1		1	1
FMF inverno7	0	0	0	0	1
M1 base1	5	5	7	5	5
M1 base2	5	5	5	5	5
M1 base3	5	6	6	6	5
M1 componente1	4	4	4	4	4
M1 componente2	5	4	4	4	2
M1 componente3	2	2	2	2	2
M1 componente4	5	4	4	4	5
M1 componente5	2	2	4	2	2
M1 componente6	5	4	4	4	2
M1 componente7	5	4	4	4	5
M1 componente9	4			4	5

**Tabela A.1.3** - Identificação da misturadora mais utilizada no processo de fabrico de cada composto versus misturadora mais eficiente para o mesmo processo (compostos M1 componente10 até M2 componente9).

Composto	Misturadora mais Utilizada				Misturadora mais Eficiente
	janeiro	fevereiro	março	Média	
M1 componente10	2	2	2	2	2
M1 componente11	2			2	2
M1 componente12	2			2	2
M1 componente13	2	2		2	2
M1 verao1		6		6	6
M1 verao2	7	7	6	7	6
M1 verao3	5	5	5	5	6
M1 verao4	7	6	6	6	6
M1 verao5	6	7	6	6	6
M1 verao6	5	5	5	5	5
M1 verao7	7	5	5	5	6
M1 verao8	6	6	6	6	6
M1 verao9	7	6	6	6	6
M1 verao10	7	7	7	7	6
M1 verao11	7	7	7	7	7
M1 verao12	5	5	5	5	6
M1 verao13	7	7	7	7	7
M1 verao14	6	6	6	6	6
M1 verao15		6	6	6	6
M1 verao16	5	5	5	5	5
M1 verao17	5	5	5	5	5
M1 verao18	6	6		6	6
M1 verao19	5	5	5	5	5
M1 verao20	7	5	5	5	6
M1 verao21	7	6	7	7	5
M1 verao22	6	6	6	6	6
M1 verao24	7	7	5	5	6
M1 verao25	5	7	5	5	6
M1 verao26	6	6	6	6	6
M1 verao27	6	6	6	6	6
M1 verao28	6	6	6	6	6
M1 inverno1		6	7	6	6
M1 inverno2		7	7	7	7
M1 inverno3	7	7	7	7	7
M1 inverno4	6	7	7	6	6
M1 inverno5		6	7	6	6
M1 inverno7	6	6	6	6	6
M2 componente3	2	2	2	2	2
M2 componente6	5	4	4	4	2
M2 componente9	4			4	5

**Tabela A.1.4** - Identificação da misturadora mais utilizada no processo de fabrico de cada composto versus misturadora mais eficiente para o mesmo processo (compostos M2 componente10 até workoff2).

Composto	Misturadora mais Utilizada				Misturadora mais Eficiente
	janeiro	fevereiro	março	Média	
M2 componente10	2	2	2	2	2
M2 verao1		6		6	6
M2 verao5	7	7	6	6	6
R1 base1	7	7		7	7
R1 base2	5	5	5	5	4
R1 componente4	5	4	4	4	5
R1 componente10	6	6	7	6	4
R1 verao3	5	5	5	5	7
R1 verao4	7	6	6	6	6
R1 verao5	7	7	6	6	7
R1 verao8	7	6	6	6	6
R1 verao14	6	6	6	6	6
R1 verao18	6	6		6	6
R1 verao24	7	7	5	5	7
R1 verao25	5	7	5	5	7
R1 verao26	6	6	6	6	6
R1 verao27	6	6	6	6	6
workoff1	4	4	4	4	4
workoff2	3		3	3	3

**Tabela A.2.1** - Consumo Energético Específico Médio do processo de produção de cada Composto, por *batch* e por tonelada, e respetiva classificação por código de cores (compostos FMF base1 até FMF componente13).

Composto	E <sub>méd</sub> (kWh/ <i>batch</i> )	E <sub>méd</sub> (kWh/ton)
FMF base1	13,73154	61,92489
FMF base2	15,04806	67,83080
FMF base3	15,82219	66,06730
FMF componente1	15,84689	75,80503
FMF componente2	16,06685	75,41531
FMF componente3	15,82329	64,17936
FMF componente4	14,55929	64,05740
FMF componente5	14,00895	58,07398
FMF componente6	13,19238	59,86738
F1 componente7	13,28548	58,64517
FMF componente8	12,00021	47,60495
FMF componente9	14,96631	63,82713
FMF componente10	13,54663	57,42968
FMF componente11	15,58034	61,93192
FMF componente12	16,18639	63,93639
FMF componente13	16,88695	66,95643

**Tabela A.2.2** - Consumo Energético Específico Médio do processo de produção de cada Composto, por *batch* e por tonelada, e respetiva classificação por código de cores (compostos FMF verao1 até M1 base2).

Composto	$E_{\text{méd}}$ (kWh/ <i>batch</i> )	$E_{\text{méd}}$ (kWh/ton)
FMF verao1	13,92315	54,35120
FMF verao2	17,73607	69,05897
FMF verao3	13,34052	56,85937
FMF verao4	16,80151	65,74518
FMF verao5	17,27308	67,93871
FMF verao6	15,73140	65,03292
FMF verao7	15,49660	61,50324
FMF verao8	15,67261	62,93511
FMF verao9	17,68604	70,35718
FMF verao10	17,32529	66,97989
FMF verao11	15,89266	63,79061
FMF verao12	15,54906	62,16641
FMF verao13	14,94438	57,56187
FMF verao14	14,68835	60,38573
FMF verao15	16,28775	63,28287
FMF verao16	15,65932	61,10094
FMF verao17	15,15800	70,37142
FMF verao18	16,33867	65,79761
FMF verao19	13,09909	53,88688
FMF verao20	13,90829	57,48960
FMF verao21	15,53666	64,35240
FMF verao22	17,26362	70,00655
FMF verao24	15,49482	61,95077
FMF verao25	14,94399	58,40233
FMF verao26	17,45180	68,68353
FMF verao27	18,01098	69,02399
FMF verao28	15,04484	61,76678
FMF inverno1	15,81308	63,05408
FMF inverno2	15,95023	63,65069
FMF inverno3	16,67923	68,04379
FMF inverno4	18,13973	69,34226
FMF inverno5	15,71386	65,45997
FMF inverno6	19,75000	79,11836
FMF inverno7	19,04584	77,09586
FMO componente8.1	36,63299	98,40700
FMO componente11.1	35,38435	115,14219
FMO componente12.1	34,57471	108,45607
FMO componente13.1	35,38352	116,45140
M1 base1	26,62310	118,79850
M1 base2	30,99633	127,42580

**Tabela A.2.3** - Consumo Energético Específico Médio do processo de produção de cada Composto, por *batch* e por tonelada, e respetiva classificação por código de cores (compostos M1 base3 até M1 verao28).

Composto	E <sub>méd</sub> (kWh/ <i>batch</i> )	E <sub>méd</sub> (kWh/ton)
M1 base3	27,23413	115,37345
M1 componente1	23,54927	100,51679
M1 componente2	21,64431	110,20974
M1 componente3	19,64857	95,24272
M1 componente4	23,25024	98,70616
M1 componente5	20,52772	96,30644
M1 componente6	24,33112	108,05428
M1 componente7	22,33260	95,57609
M1 componente9	26,50830	117,99243
M1 componente10	21,29115	106,37437
M1 componente11	20,62966	93,54881
M1 componente12	23,93255	107,87863
M1 componente13	24,17700	109,54343
M1 verao1	48,36550	188,66977
M1 verao2	40,04224	156,50669
M1 verao3	30,02169	127,94787
M1 verao4	40,06514	157,54759
M1 verao5	41,27986	164,87215
M1 verao6	38,78324	154,34888
M1 verao7	38,20788	148,61387
M1 verao8	45,33266	177,75423
M1 verao9	38,66251	157,04658
M1 verao10	37,95503	156,12288
M1 verao11	39,83854	159,35414
M1 verao12	38,67270	153,72539
M1 verao13	39,58117	165,48348
M1 verao14	47,60805	181,73994
M1 verao15	36,56299	142,52631
M1 verao16	37,75875	152,67474
M1 verao17	40,05959	169,51776
M1 verao18	43,86835	173,90478
M1 verao19	24,86693	101,58474
M1 verao20	38,44479	150,19256
M1 verao21	41,11018	161,07110
M1 verao22	37,39397	152,42006
M1 verao24	37,68495	149,13215
M1 verao25	38,62457	152,50053
M1 verao26	35,38069	144,51716
M1 verao27	38,71307	149,61803
M1 verao28	42,72203	171,51035



**Tabela A.2.4** - Consumo Energético Específico Médio do processo de produção de cada Composto, por *batch* e por tonelada, e respetiva classificação por código de cores (compostos M1 inverno1 até workoff2).

Composto	$E_{\text{méd}}$ (kWh/ <i>batch</i> )	$E_{\text{méd}}$ (kWh/ton)
M1 inverno1	39,01798	158,79688
M1 inverno2	39,22852	159,58879
M1 inverno3	45,31277	177,54047
M1 inverno4	44,88986	175,82491
M1 inverno5	45,49285	177,38079
M1 inverno7	49,69198	189,82345
M2 componente3	18,72274	83,47186
M2 componente6	21,45013	86,76888
M2 componente9	22,61617	106,99293
M2 componente10	21,59711	104,84545
M2 verao1	33,87236	143,53607
M2 verao5	34,70936	147,58007
R1 base1	19,53705	90,87001
R1 base2	22,41422	103,29132
R1 componente4	22,32628	94,60289
R1 componente10	25,64373	122,11300
R1 verao3	21,80642	92,99113
R1 verao4	22,10313	86,67893
R1 verao5	12,57143	53,49544
R1 verao8	22,87042	92,59279
R1 verao14	22,13882	89,99521
R1 verao18	22,10698	87,72612
R1 verao24	19,95718	78,88214
R1 verao25	19,72903	77,98036
R1 verao26	19,91340	84,73785
R1 verao27	20,71916	82,21890
workoff1	8,44000	40,19049
workoff2	8,24009	39,23854

**Tabela A.3.1** - Consumo Energético Específico (kWh/*batch*) por Misturadora relativo ao processo de produção de um *batch* de cada composto (compostos FMF base1 até FMF componente5).

kWh/ <i>batch</i>	Misturadora								
Composto	0	1	2	3	4	5	6	7	9
FMF base1	15,859	13,161		13,923					
FMF base2	16,536	13,531		14,646	14,018				
FMF base3	17,910	15,100		14,983					
FMF componente1	15,847								
FMF componente2	16,067								
FMF componente3	15,823								
FMF componente4	16,869			13,509					
FMF componente5	14,009								

**Tabela A.3.2** - Consumo Energético Específico (kWh/*batch*) por Misturadora relativo ao processo de produção de um *batch* de cada composto (compostos FMF componente6 até FMF inverno3).

kWh/ <i>batch</i>	Misturadora								
Composto	0	1	2	3	4	5	6	7	9
FMF componente6	14,566			13,143					
F1 componente7	13,846			13,102					
FMF componente8		12,000							
FMO componente8.1									36,633
FMF componente9	17,152	14,253		14,660					
FMF componente10	17,289	13,492							
FMF componente11	17,583	13,577							
FMO componente11.1									35,384
FMF componente12	16,186								
FMO componente12.1									34,575
FMF componente13	16,887								
FMO componente13.1									35,384
FMF verao1	13,923								
FMF verao2	19,174	16,694		16,091	16,320				
FMF verao3		11,552		13,788					
FMF verao4	17,902	14,418		13,681					
FMF verao5	17,273								
FMF verao6	18,265	14,816		15,330					
FMF verao7	18,150	14,953		14,755					
FMF verao8	16,765	14,385		16,413					
FMF verao9	19,251	15,753							
FMF verao10	19,759	16,520		15,687	15,514				
FMF verao11	19,115	15,241		15,120					
FMF verao12	17,655	14,816		13,857					
FMF verao13	17,594	14,521		14,697	15,911				
FMF verao14	14,688								
FMF verao15	17,167	13,840			16,518				
FMF verao16		15,714		15,798	15,096				
FMF verao17	15,600				15,048				
FMF verao18	20,005	15,240		15,127	16,266				
FMF verao19		14,535		11,724	14,167				
FMF verao20	15,868	13,938		13,681					
FMF verao21	17,655	14,178		13,044					
FMF verao22	17,782	14,209		14,742					
FMF verao24	18,736	14,982		14,928					
FMF verao25	18,401	15,089		14,310	14,641				
FMF verao26	18,749	15,261		15,520	16,385				
FMF verao27	18,202	13,806							
FMF verao28	16,553	14,033		14,407					
FMF inverno1	18,048	15,444		10,582					
FMF inverno2	18,571	15,075			13,333				
FMF inverno3	16,604	15,904		17,770	16,790				

**Tabela A.3.3** - Consumo Energético Específico (kWh/*batch*) por Misturadora relativo ao processo de produção de um *batch* de cada composto (compostos FMF inverno4 até M1 verao25).

kWh/ <i>batch</i>	Misturadora								
Composto	0	1	2	3	4	5	6	7	9
FMF inverno4	19,917	15,216		16,250					
FMF inverno5	16,214	15,464							
FMF inverno6		19,750							
FMF inverno7	19,352	15,371							
M1 base1						25,239		28,142	
M1 base2						30,822		31,479	
M1 base3						25,898	26,675	28,281	31,035
M1 componente1					23,549				
M1 componente2			17,747		22,625	22,073			
M1 componente3			19,649						
M1 componente5			19,281		24,822				
M1 componente4					23,569	22,772			
M1 componente6			19,683		24,331	24,730			
M1 componente7					22,805	21,556			
M1 componente9					26,594	26,337			
M1 componente10			21,291						
M1 componente11			20,630						
M1 componente12			23,933						
M1 componente13			24,177						
M1 verao1							35,041	61,690	
M1 verao2							37,966	40,907	
M1 verao3						29,948	29,376	31,552	
M1 verao4							38,745	41,239	
M1 verao5							41,280		
M1 verao6						38,358		40,389	
M1 verao7						38,102	36,453	38,812	
M1 verao8							42,954	49,033	
M1 verao9							36,952	40,062	
M1 verao10							33,964	38,499	
M1 verao11								39,839	
M1 verao12						38,650	38,460	39,845	
M1 verao13								39,581	
M1 verao14							47,608		
M1 verao15							36,563		
M1 verao16						37,165		41,578	
M1 verao17						38,003		44,173	
M1 verao18							42,701	44,452	
M1 verao19						24,867			
M1 verao20						37,606	37,183	39,824	
M1 verao21						38,292	40,575	42,389	
M1 verao22							37,394		
M1 verao24						37,950	37,394	37,411	

**Tabela A.3.4** - Consumo Energético Específico (kWh/*batch*) por Misturadora relativo ao processo de produção de um *batch* de cada composto (compostos M1 verao25 até workoff2).

kWh/ <i>batch</i>	Misturadora								
Composto	0	1	2	3	4	5	6	7	9
M1 verao25						38,707	37,154	39,977	
M1 verao26							35,316	39,906	
M1 verao27							38,713		
M1 verao28							42,722		
M1 inverno1							38,453	39,583	
M1 inverno2								39,229	
M1 inverno3								45,313	
M1 inverno4							43,667	45,298	
M1 inverno5							44,977	46,524	
M1 inverno7							49,692		
M2 componente3			18,723						
M2 componente6			16,000		21,375	22,057			
M2 componente9					22,872	22,105			
M2 componente10			21,597						
M2 verao1							24,890	42,855	
M2 verao5							28,064	48,000	
R1 base1						20,815		19,218	
R1 base2					16,183	23,104		21,232	
R1 componente4					22,570	21,961			
R1 componente10					24,107	26,256	25,220	25,907	
R1 verao3						22,070	21,675	20,291	
R1 verao4							21,468	22,612	
R1 verao5							12,857	12,000	
R1 verao8							21,751	24,690	
R1 verao14							22,139		
R1 verao18							21,667	22,327	
R1 verao24						20,187	20,721	19,466	
R1 verao25						19,944	20,409	18,742	
R1 verao26						20,357	19,866	22,572	
R1 verao27							20,719		
workoff1					8,440				
workoff2				8,107					8,638

**Tabela A.4.1** - Consumo Energético Específico (kWh/ton) por Misturadora relativo ao processo de produção de uma tonelada de cada composto, com destaque do valor mais baixo (compostos FMF base1 até FMF componente2).

kWh/ton	Misturadora								
Composto	0	1	2	3	4	5	6	7	9
FMF base1	71,517	59,353		62,789					
FMF base2	74,538	60,992		66,020	63,187				
FMF base3	74,787	63,051		62,564					
FMF componente1	75,805								
FMF componente2	75,415								

**Tabela A.4.2** - Consumo Energético Específico (kWh/ton) por Misturadora relativo ao processo de produção de uma tonelada de cada composto, com destaque do valor mais baixo (compostos FMF componente3 até FMF verao28).

kWh/ton	Misturadora								
Composto	0	1	2	3	4	5	6	7	9
FMF componente3	64,179								
FMF componente4	74,221			59,438					
FMF componente5	58,074								
FMF componente6	66,099			59,645					
F1 componente7	61,122			57,836					
FMF componente8		47,605							
FMO componente8.1									98,407
FMF componente9	73,150	60,784		62,523					
FMF componente10	73,297	57,198							
FMF componente11	69,894	53,970							
FMO componente11.1									115,142
FMF componente12	63,936								
FMO componente12.1									108,456
FMF componente13	66,956								
FMO componente13.1									116,451
FMF verao1	54,351								
FMF verao2	74,660	65,000		62,655	63,546				
FMF verao3		49,237		58,765					
FMF verao4	70,050	56,420		53,533					
FMF verao5	67,939								
FMF verao6	75,507	61,249		63,373					
FMF verao7	72,036	59,347		58,559					
FMF verao8	67,322	57,765		65,909					
FMF verao9	76,583	62,667							
FMF verao10	76,388	63,867		60,646	59,976				
FMF verao11	76,724	61,176		60,689					
FMF verao12	70,586	59,237		55,400					
FMF verao13	67,766	55,930		56,610	61,285				
FMF verao14	60,386								
FMF verao15	66,697	53,773			64,177				
FMF verao16		61,316		61,644	58,904				
FMF verao17	72,423				69,858				
FMF verao18	80,564	61,374		60,918	65,505				
FMF verao19		59,796		48,231	58,279				
FMF verao20	65,589	57,614		56,551					
FMF verao21	73,125	58,726		54,026					
FMF verao22	72,107	57,620		59,780					
FMF verao24	74,911	59,902		59,683					
FMF verao25	71,913	58,969		55,926	57,219				
FMF verao26	73,789	60,062		61,082	64,485				
FMF verao27	69,756	52,911							
FMF verao28	67,958	57,614		59,148					

**Tabela A.4.3** - Consumo Energético Específico (kWh/ton) por Misturadora relativo ao processo de produção de uma tonelada de cada composto, com destaque do valor mais baixo (compostos FMF inverno1 até M1 verao20).

kWh/ton	Misturadora								
Composto	0	1	2	3	4	5	6	7	9
FMF inverno1	71,967	61,584		42,196					
FMF inverno2	74,107	60,156			53,208				
FMF inverno3	67,736	64,882		72,495	68,494				
FMF inverno4	76,135	58,165		62,118					
FMF inverno5	67,545	64,418							
FMF inverno6		79,118							
FMF inverno7	78,335	62,222							
M1 base1						112,623		125,576	
M1 base2						126,711		129,408	
M1 base3						109,713	113,004	119,807	131,476
M1 componente1					100,517				
M1 componente2			90,367		115,204	112,394			
M1 componente3			95,243						
M1 componente5			90,458		116,452				
M1 componente4					100,060	96,675			
M1 componente6			87,413		108,054	109,824			
M1 componente7					97,599	92,253			
M1 componente9					118,373	117,231			
M1 componente10			106,374						
M1 componente11			93,549						
M1 componente12			107,879						
M1 componente13			109,543						
M1 verao1							136,690	240,649	
M1 verao2							148,391	159,888	
M1 verao3						127,634	125,198	134,470	
M1 verao4							152,355	162,163	
M1 verao5							164,872		
M1 verao6						152,657		160,739	
M1 verao7						148,200	141,790	150,964	
M1 verao8							168,427	192,263	
M1 verao9							150,098	162,732	
M1 verao10							139,707	158,361	
M1 verao11								159,354	
M1 verao12						153,634	152,879	158,386	
M1 verao13								165,483	
M1 verao14							181,740		
M1 verao15							142,526		
M1 verao16						150,272		168,119	
M1 verao17						160,814		186,926	
M1 verao18							169,276	176,219	
M1 verao19						101,585			
M1 verao20						146,914	145,261	155,581	

**Tabela A.4.4** - Consumo Energético Específico (kWh/ton) por Misturadora relativo ao processo de produção de uma tonelada de cada composto, com destaque do valor mais baixo (compostos M1 verao21 até workoff2).

kWh/ton	Misturadora								
Composto	0	1	2	3	4	5	6	7	9
M1 verao21						150,031	158,975	166,081	
M1 verao22							152,420		
M1 verao24						150,180	147,982	148,046	
M1 verao25						152,825	146,696	157,842	
M1 verao26							144,253	163,000	
M1 verao27							149,618		
M1 verao28							171,510		
M1 inverno1							156,496	161,098	
M1 inverno2								159,589	
M1 inverno3								177,540	
M1 inverno4							171,034	177,422	
M1 inverno5							175,370	181,402	
M1 inverno7							189,823		
M2 componente3			83,472						
M2 componente6			64,724		86,464	89,225			
M2 componente9					108,203	104,573			
M2 componente10			104,845						
M2 verao1							105,473	181,599	
M2 verao5							119,325	204,090	
R1 base1						96,813		89,384	
R1 base2					74,576	106,472		97,845	
R1 componente4					95,634	93,056			
R1 componente10					114,793	125,027	120,095	123,366	
R1 verao3						94,115	92,432	86,528	
R1 verao4							84,186	88,673	
R1 verao5							54,711	51,064	
R1 verao8							88,060	99,959	
R1 verao14							89,995		
R1 verao18							85,979	88,600	
R1 verao24						79,791	81,903	76,941	
R1 verao25						78,830	80,667	74,080	
R1 verao26						86,628	84,538	96,052	
R1 verao27							82,219		
workoff1					40,190				
workoff2				38,606					41,135

**Tabela A.5.1** - Custo Energético Médio associado à produção de um *batch* (€/batch) e à produção de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários (compostos FMF base1 até FMF verao22).

Período	Ponta		Cheia		Vazio		Supervazio	
Composto	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton
FMF base1	0,913	4,117	0,866	3,903	0,759	3,423	0,756	3,408
FMF base2	1,000	4,510	0,949	4,276	0,832	3,750	0,828	3,733
FMF base3	1,052	4,392	0,997	4,164	0,875	3,652	0,871	3,636
FMF componente1	1,054	5,040	0,999	4,778	0,876	4,191	0,872	4,172
FMF componente2	1,068	5,014	1,013	4,754	0,888	4,169	0,884	4,150
FMF componente3	1,052	4,267	0,997	4,045	0,875	3,548	0,871	3,532
FMF componente4	0,968	4,259	0,918	4,038	0,805	3,541	0,801	3,525
FMF componente5	0,931	3,861	0,883	3,661	0,774	3,210	0,771	3,196
FMF componente6	0,877	3,980	0,832	3,774	0,729	3,310	0,726	3,295
F1 componente7	0,883	3,899	0,837	3,697	0,734	3,242	0,731	3,227
FMF componente8	0,798	3,165	0,756	3,001	0,663	2,632	0,660	2,620
FMO componente8.1	2,435	6,542	2,309	6,203	2,025	5,440	2,016	5,416
FMF componente9	0,995	4,243	0,943	4,023	0,827	3,528	0,824	3,513
FMF componente10	0,901	3,818	0,854	3,620	0,749	3,175	0,745	3,160
FMF componente11	1,036	4,117	0,982	3,904	0,861	3,424	0,857	3,408
FMO componente11.1	2,352	7,655	2,230	7,258	1,956	6,365	1,947	6,337
FMF componente12	1,076	4,251	1,020	4,030	0,895	3,535	0,891	3,519
FMO componente12.1	2,299	7,210	2,179	6,836	1,911	5,996	1,903	5,969
FMF componente13	1,123	4,451	1,064	4,220	0,934	3,701	0,929	3,685
FMO componente13.1	2,352	7,742	2,230	7,340	1,956	6,438	1,947	6,409
FMF verao1	0,926	3,613	0,878	3,426	0,770	3,005	0,766	2,991
FMF verao2	1,179	4,591	1,118	4,353	0,980	3,818	0,976	3,800
FMF verao3	0,887	3,780	0,841	3,584	0,737	3,143	0,734	3,129
FMF verao4	1,117	4,371	1,059	4,144	0,929	3,635	0,925	3,618
FMF verao5	1,148	4,517	1,089	4,282	0,955	3,756	0,951	3,739
FMF verao6	1,046	4,324	0,992	4,099	0,870	3,595	0,866	3,579
FMF verao7	1,030	4,089	0,977	3,877	0,857	3,400	0,853	3,385
FMF verao8	1,042	4,184	0,988	3,967	0,866	3,479	0,862	3,463
FMF verao9	1,176	4,677	1,115	4,435	0,978	3,889	0,973	3,872
FMF verao10	1,152	4,453	1,092	4,222	0,958	3,703	0,953	3,686
FMF verao11	1,057	4,241	1,002	4,021	0,879	3,526	0,875	3,511
FMF verao12	1,034	4,133	0,980	3,918	0,860	3,437	0,856	3,421
FMF verao13	0,994	3,827	0,942	3,628	0,826	3,182	0,822	3,168
FMF verao14	0,977	4,015	0,926	3,806	0,812	3,338	0,808	3,323
FMF verao15	1,083	4,207	1,027	3,989	0,900	3,498	0,896	3,483
FMF verao16	1,041	4,062	0,987	3,851	0,866	3,378	0,862	3,363
FMF verao17	1,008	4,678	0,955	4,436	0,838	3,890	0,834	3,873
FMF verao18	1,086	4,374	1,030	4,147	0,903	3,637	0,899	3,621
FMF verao19	0,871	3,583	0,826	3,397	0,724	2,979	0,721	2,966
FMF verao20	0,925	3,822	0,877	3,624	0,769	3,178	0,765	3,164
FMF verao21	1,033	4,278	0,979	4,056	0,859	3,558	0,855	3,541
FMF verao22	1,148	4,654	1,088	4,413	0,954	3,870	0,950	3,853



**Tabela A.5.2** - Custo Energético Médio associado à produção de um *batch* (€/batch) e à produção de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários (compostos FMF verao24 até M1 verao15).

Período	Ponta		Cheia		Vazio		Supervazio	
Composto	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton
FMF verao24	1,030	4,119	0,977	3,905	0,857	3,425	0,853	3,409
FMF verao25	0,994	3,883	0,942	3,681	0,826	3,229	0,822	3,214
FMF verao26	1,160	4,566	1,100	4,329	0,965	3,797	0,960	3,780
FMF verao27	1,197	4,589	1,135	4,351	0,996	3,816	0,991	3,799
FMF verao28	1,000	4,106	0,948	3,893	0,832	3,415	0,828	3,399
FMF inverno1	1,051	4,192	0,997	3,974	0,874	3,486	0,870	3,470
FMF inverno2	1,060	4,232	1,005	4,012	0,882	3,519	0,878	3,503
FMF inverno3	1,109	4,524	1,051	4,289	0,922	3,762	0,918	3,745
FMF inverno4	1,206	4,610	1,143	4,371	1,003	3,833	0,998	3,816
FMF inverno5	1,045	4,352	0,990	4,126	0,869	3,619	0,865	3,602
FMF inverno6	1,313	5,260	1,245	4,987	1,092	4,374	1,087	4,354
FMF inverno7	1,266	5,125	1,200	4,860	1,053	4,262	1,048	4,243
M1 base1	1,770	7,898	1,678	7,488	1,472	6,567	1,465	6,538
M1 base2	2,061	8,472	1,954	8,032	1,714	7,044	1,706	7,012
M1 base3	1,811	7,670	1,717	7,272	1,506	6,378	1,499	6,349
M1 componente1	1,566	6,683	1,484	6,336	1,302	5,557	1,296	5,532
M1 componente2	1,439	7,327	1,364	6,947	1,197	6,093	1,191	6,065
M1 componente3	1,306	6,332	1,238	6,003	1,086	5,265	1,081	5,241
M1 componente5	1,365	6,403	1,294	6,070	1,135	5,324	1,130	5,300
M1 componente4	1,546	6,562	1,466	6,222	1,285	5,457	1,280	5,432
M1 componente6	1,618	7,184	1,534	6,811	1,345	5,973	1,339	5,946
M1 componente7	1,485	6,354	1,408	6,024	1,235	5,284	1,229	5,260
M1 componente9	1,762	7,844	1,671	7,437	1,465	6,523	1,459	6,493
M1 componente10	1,415	7,072	1,342	6,705	1,177	5,881	1,172	5,854
M1 componente11	1,372	6,219	1,300	5,897	1,140	5,172	1,135	5,148
M1 componente12	1,591	7,172	1,509	6,800	1,323	5,964	1,317	5,937
M1 componente13	1,607	7,283	1,524	6,905	1,337	6,056	1,331	6,028
M1 verao1	3,215	12,543	3,049	11,892	2,674	10,430	2,662	10,383
M1 verao2	2,662	10,405	2,524	9,865	2,214	8,652	2,204	8,613
M1 verao3	1,996	8,506	1,892	8,065	1,660	7,073	1,652	7,041
M1 verao4	2,664	10,474	2,525	9,931	2,215	8,710	2,205	8,670
M1 verao5	2,744	10,961	2,602	10,392	2,282	9,114	2,272	9,073
M1 verao6	2,578	10,261	2,445	9,729	2,144	8,533	2,134	8,494
M1 verao7	2,540	9,880	2,408	9,367	2,112	8,216	2,103	8,179
M1 verao8	3,014	11,817	2,857	11,204	2,506	9,827	2,495	9,782
M1 verao9	2,570	10,441	2,437	9,899	2,137	8,682	2,128	8,643
M1 verao10	2,523	10,379	2,392	9,841	2,098	8,631	2,089	8,592
M1 verao11	2,649	10,594	2,511	10,044	2,202	8,809	2,192	8,770
M1 verao12	2,571	10,220	2,438	9,690	2,138	8,498	2,128	8,460
M1 verao13	2,631	11,002	2,495	10,431	2,188	9,148	2,178	9,107
M1 verao14	3,165	12,082	3,001	11,455	2,632	10,047	2,620	10,002
M1 verao15	2,431	9,475	2,305	8,984	2,021	7,879	2,012	7,844

**Tabela A.5.3** - Custo Energético Médio associado à produção de um *batch* (€/batch) e à produção de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários (compostos M1 verao16 até workoff2).

Período	Ponta		Cheia		Vazio		Supervazio	
Composto	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton
M1 verao16	2,510	10,150	2,380	9,623	2,087	8,440	2,078	8,402
M1 verao17	2,663	11,270	2,525	10,685	2,215	9,371	2,205	9,329
M1 verao18	2,916	11,562	2,765	10,962	2,425	9,614	2,414	9,570
M1 verao19	1,653	6,754	1,567	6,403	1,375	5,616	1,368	5,590
M1 verao20	2,556	9,985	2,423	9,467	2,125	8,303	2,116	8,265
M1 verao22	2,486	10,133	2,357	9,607	2,067	8,426	2,058	8,388
M1 verao21	2,733	10,708	2,591	10,153	2,273	8,904	2,262	8,864
M1 verao24	2,505	9,915	2,375	9,400	2,083	8,244	2,074	8,207
M1 verao25	2,568	10,139	2,435	9,612	2,135	8,431	2,126	8,392
M1 verao26	2,352	9,608	2,230	9,109	1,956	7,989	1,947	7,953
M1 verao27	2,574	9,947	2,440	9,431	2,140	8,271	2,130	8,234
M1 verao28	2,840	11,402	2,693	10,811	2,362	9,481	2,351	9,439
M1 inverno1	2,594	10,557	2,459	10,009	2,157	8,779	2,147	8,739
M1 inverno2	2,608	10,610	2,473	10,059	2,169	8,822	2,159	8,782
M1 inverno3	3,012	11,803	2,856	11,191	2,505	9,815	2,494	9,770
M1 inverno4	2,984	11,689	2,829	11,083	2,482	9,720	2,470	9,676
M1 inverno5	3,024	11,793	2,868	11,181	2,515	9,806	2,504	9,762
M1 inverno7	3,304	12,620	3,132	11,965	2,747	10,494	2,735	10,446
M2 componente3	1,245	5,549	1,180	5,261	1,035	4,614	1,030	4,594
M2 componente6	1,426	5,769	1,352	5,469	1,186	4,797	1,180	4,775
M2 componente9	1,504	7,113	1,426	6,744	1,250	5,915	1,245	5,888
M2 componente10	1,436	6,970	1,361	6,609	1,194	5,796	1,189	5,770
M2 verao1	2,252	9,543	2,135	9,047	1,873	7,935	1,864	7,899
M2 verao5	2,308	9,811	2,188	9,302	1,919	8,159	1,910	8,122
R1 base1	1,299	6,041	1,231	5,728	1,080	5,023	1,075	5,001
R1 base2	1,490	6,867	1,413	6,511	1,239	5,710	1,233	5,684
R1 componente4	1,484	6,289	1,407	5,963	1,234	5,230	1,229	5,206
R1 componente10	1,705	8,118	1,616	7,697	1,418	6,751	1,411	6,720
R1 verao3	1,450	6,182	1,375	5,861	1,206	5,141	1,200	5,117
R1 verao4	1,469	5,763	1,393	5,464	1,222	4,792	1,216	4,770
R1 verao5	0,836	3,556	0,792	3,372	0,695	2,957	0,692	2,944
R1 verao8	1,520	6,156	1,442	5,836	1,264	5,119	1,259	5,096
R1 verao14	1,472	5,983	1,395	5,673	1,224	4,975	1,218	4,953
R1 verao18	1,470	5,832	1,393	5,530	1,222	4,850	1,217	4,828
R1 verao24	1,327	5,244	1,258	4,972	1,103	4,361	1,098	4,341
R1 verao25	1,312	5,184	1,244	4,915	1,091	4,311	1,086	4,291
R1 verao26	1,324	5,634	1,255	5,341	1,101	4,684	1,096	4,663
R1 verao27	1,377	5,466	1,306	5,182	1,145	4,545	1,140	4,525
workoff1	0,561	2,672	0,532	2,533	0,467	2,222	0,464	2,212
workoff2	0,548	2,609	0,519	2,473	0,456	2,169	0,453	2,159

**Tabela A.6.1** - Custo Energético por Misturadora associado à produção de um *batch* (€/batch) e de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários (compostos FMF base1 até FMF verao1).

Período		Ponta		Cheia		Vazio		Supervazio	
Composto	Misturadora	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton
FMF base1	0	1,054	4,755	1,000	4,508	0,877	3,954	0,873	3,936
	1	0,875	3,946	0,830	3,741	0,728	3,281	0,724	3,266
	3	0,926	4,174	0,878	3,958	0,770	3,471	0,766	3,455
FMF base2	0	1,099	4,955	1,042	4,698	0,914	4,121	0,910	4,102
	1	0,900	4,055	0,853	3,844	0,748	3,372	0,745	3,357
	3	0,974	4,389	0,923	4,161	0,810	3,650	0,806	3,633
	4	0,932	4,201	0,884	3,983	0,775	3,493	0,771	3,477
FMF base3	0	1,191	4,972	1,129	4,714	0,990	4,134	0,986	4,116
	1	1,004	4,192	0,952	3,974	0,835	3,486	0,831	3,470
	3	0,996	4,159	0,944	3,944	0,828	3,459	0,825	3,443
FMF componente1	0	1,054	5,040	0,999	4,778	0,876	4,191	0,872	4,172
FMF componente2	0	1,068	5,014	1,013	4,754	0,888	4,169	0,884	4,150
FMF componente3	0	1,052	4,267	0,997	4,045	0,875	3,548	0,871	3,532
FMF componente4	0	1,122	4,934	1,063	4,678	0,933	4,103	0,928	4,085
	3	0,898	3,952	0,852	3,746	0,747	3,286	0,743	3,271
FMF componente5	0	0,931	3,861	0,883	3,661	0,774	3,210	0,771	3,196
FMF componente6	0	0,968	4,394	0,918	4,166	0,805	3,654	0,802	3,638
	3	0,874	3,965	0,828	3,760	0,727	3,297	0,723	3,282
F1 componente7	0	0,921	4,063	0,873	3,853	0,765	3,379	0,762	3,364
	3	0,871	3,845	0,826	3,645	0,724	3,197	0,721	3,183
FMF componente8	1	0,798	3,165	0,756	3,001	0,663	2,632	0,660	2,620
FMO componente8.1	9	2,435	6,542	2,309	6,203	2,025	5,440	2,016	5,416
FMF componente9	0	1,140	4,863	1,081	4,611	0,948	4,044	0,944	4,026
	1	0,948	4,041	0,898	3,831	0,788	3,360	0,784	3,345
	3	0,975	4,157	0,924	3,941	0,810	3,456	0,807	3,441
FMF componente10	0	1,149	4,873	1,090	4,620	0,956	4,052	0,951	4,034
	1	0,897	3,803	0,850	3,605	0,746	3,162	0,742	3,148
FMF componente11	0	1,169	4,647	1,108	4,406	0,972	3,864	0,968	3,846
	1	0,903	3,588	0,856	3,402	0,751	2,984	0,747	2,970
FMO componente11.1	9	2,352	7,655	2,230	7,258	1,956	6,365	1,947	6,337
FMF componente12	0	1,076	4,251	1,020	4,030	0,895	3,535	0,891	3,519
FMO componente12.1	9	2,299	7,210	2,179	6,836	1,911	5,996	1,903	5,969
FMF componente13	0	1,123	4,451	1,064	4,220	0,934	3,701	0,929	3,685
FMO componente13.1	9	2,352	7,742	2,230	7,340	1,956	6,438	1,947	6,409
FMF verao1	0	0,926	3,613	0,878	3,426	0,770	3,005	0,766	2,991

**Tabela A.6.2** - Custo Energético por Misturadora associado à produção de um *batch* (€/batch) e de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários (compostos FMF verao2 até FMF verao16).

Período		Ponta		Cheia		Vazio		Supervazio	
Composto	Misturadora	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton
FMF verao2	0	1,275	4,964	1,209	4,706	1,060	4,127	1,055	4,109
	1	1,110	4,321	1,052	4,097	0,923	3,593	0,919	3,577
	3	1,070	4,165	1,014	3,949	0,890	3,464	0,886	3,448
	4	1,085	4,225	1,029	4,005	0,902	3,513	0,898	3,497
FMF verao3	1	0,768	3,273	0,728	3,103	0,639	2,722	0,636	2,710
	3	0,917	3,907	0,869	3,704	0,762	3,249	0,759	3,234
FMF verao4	0	1,190	4,657	1,128	4,415	0,990	3,873	0,985	3,855
	1	0,959	3,751	0,909	3,556	0,797	3,119	0,793	3,105
	3	0,910	3,559	0,862	3,374	0,756	2,959	0,753	2,946
FMF verao5	0	1,148	4,517	1,089	4,282	0,955	3,756	0,951	3,739
FMF verao6	0	1,214	5,020	1,151	4,759	1,010	4,174	1,005	4,155
	1	0,985	4,072	0,934	3,861	0,819	3,386	0,815	3,371
	3	1,019	4,213	0,966	3,995	0,847	3,503	0,844	3,488
FMF verao7	0	1,207	4,789	1,144	4,541	1,003	3,982	0,999	3,964
	1	0,994	3,946	0,943	3,741	0,827	3,281	0,823	3,266
	3	0,981	3,893	0,930	3,691	0,816	3,237	0,812	3,223
FMF verao8	0	1,115	4,476	1,057	4,243	0,927	3,722	0,923	3,705
	1	0,956	3,840	0,907	3,641	0,795	3,193	0,792	3,179
	3	1,091	4,382	1,035	4,154	0,907	3,644	0,903	3,627
FMF verao9	0	1,280	5,091	1,213	4,827	1,064	4,234	1,059	4,214
	1	1,047	4,166	0,993	3,950	0,871	3,464	0,867	3,449
FMF verao10	0	1,314	5,078	1,245	4,815	1,092	4,223	1,087	4,204
	1	1,098	4,246	1,041	4,026	0,913	3,531	0,909	3,515
	3	1,043	4,032	0,989	3,823	0,867	3,353	0,863	3,337
	4	1,031	3,987	0,978	3,780	0,858	3,316	0,854	3,301
FMF verao11	0	1,271	5,101	1,205	4,836	1,057	4,241	1,052	4,222
	1	1,013	4,067	0,961	3,856	0,843	3,382	0,839	3,367
	3	1,005	4,035	0,953	3,825	0,836	3,355	0,832	3,340
FMF verao12	0	1,174	4,693	1,113	4,449	0,976	3,902	0,972	3,884
	1	0,985	3,938	0,934	3,734	0,819	3,275	0,815	3,260
	3	0,921	3,683	0,873	3,492	0,766	3,063	0,763	3,049
FMF verao13	0	1,170	4,505	1,109	4,271	0,973	3,746	0,968	3,729
	1	0,965	3,718	0,915	3,525	0,803	3,092	0,799	3,078
	3	0,977	3,764	0,926	3,568	0,812	3,130	0,809	3,115
	4	1,058	4,074	1,003	3,863	0,880	3,388	0,876	3,373
FMF verao14	0	0,977	4,015	0,926	3,806	0,812	3,338	0,808	3,323
FMF verao15	0	1,141	4,434	1,082	4,204	0,949	3,687	0,945	3,670
	1	0,920	3,575	0,872	3,389	0,765	2,973	0,762	2,959
	4	1,098	4,267	1,041	4,045	0,913	3,548	0,909	3,532
FMF verao16	1	1,045	4,076	0,991	3,865	0,869	3,390	0,865	3,374
	3	1,050	4,098	0,996	3,886	0,873	3,408	0,869	3,392
	4	1,004	3,916	0,952	3,713	0,835	3,256	0,831	3,242

**Tabela A.6.3** - Custo Energético por Misturadora associado à produção de um *batch* (€/batch) e de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários (compostos FMF verao17 até FMF inverno2).

Período		Ponta		Cheia		Vazio		Supervazio	
Composto	Misturadora	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton
FMF verao17	0	1,037	4,815	0,983	4,565	0,862	4,004	0,858	3,986
	4	1,000	4,644	0,948	4,403	0,832	3,862	0,828	3,844
FMF verao18	0	1,330	5,356	1,261	5,078	1,106	4,454	1,101	4,434
	1	1,013	4,080	0,961	3,869	0,843	3,393	0,839	3,378
	3	1,006	4,050	0,953	3,840	0,836	3,368	0,832	3,352
	4	1,081	4,355	1,025	4,129	0,899	3,621	0,895	3,605
FMF verao19	1	0,966	3,975	0,916	3,769	0,804	3,306	0,800	3,291
	3	0,779	3,206	0,739	3,040	0,648	2,666	0,645	2,654
	4	0,942	3,875	0,893	3,673	0,783	3,222	0,780	3,207
FMF verao20	0	1,055	4,360	1,000	4,134	0,877	3,626	0,873	3,609
	1	0,927	3,830	0,879	3,632	0,771	3,185	0,767	3,171
	3	0,910	3,760	0,862	3,565	0,756	3,126	0,753	3,112
FMF verao21	0	1,174	4,861	1,113	4,609	0,976	4,042	0,972	4,024
	1	0,943	3,904	0,894	3,702	0,784	3,247	0,780	3,232
	3	0,867	3,592	0,822	3,405	0,721	2,987	0,718	2,973
FMF verao22	0	1,182	4,794	1,121	4,545	0,983	3,986	0,979	3,968
	1	0,945	3,831	0,896	3,632	0,786	3,185	0,782	3,171
	3	0,980	3,974	0,929	3,768	0,815	3,305	0,811	3,290
FMF verao24	0	1,246	4,980	1,181	4,722	1,036	4,141	1,031	4,123
	1	0,996	3,982	0,944	3,776	0,828	3,312	0,825	3,297
	3	0,992	3,968	0,941	3,762	0,825	3,299	0,821	3,284
FMF verao25	0	1,223	4,781	1,160	4,533	1,017	3,976	1,013	3,958
	1	1,003	3,920	0,951	3,717	0,834	3,260	0,830	3,245
	3	0,951	3,718	0,902	3,525	0,791	3,092	0,788	3,078
	4	0,973	3,804	0,923	3,607	0,809	3,163	0,806	3,149
FMF verao26	0	1,246	4,906	1,182	4,651	1,036	4,079	1,032	4,061
	1	1,015	3,993	0,962	3,786	0,844	3,320	0,840	3,305
	3	1,032	4,061	0,978	3,850	0,858	3,377	0,854	3,361
	4	1,089	4,287	1,033	4,065	0,906	3,565	0,902	3,549
FMF verao27	0	1,210	4,638	1,147	4,397	1,006	3,856	1,002	3,839
	1	0,918	3,518	0,870	3,335	0,763	2,925	0,760	2,912
FMF verao28	0	1,100	4,518	1,043	4,284	0,915	3,757	0,911	3,740
	1	0,933	3,830	0,885	3,632	0,776	3,185	0,772	3,171
	3	0,958	3,932	0,908	3,728	0,796	3,270	0,793	3,255
FMF inverno1	0	1,200	4,785	1,138	4,536	0,998	3,978	0,993	3,960
	1	1,027	4,094	0,973	3,882	0,854	3,404	0,850	3,389
	3	0,704	2,805	0,667	2,660	0,585	2,333	0,582	2,322
FMF inverno2	0	1,235	4,927	1,171	4,671	1,027	4,097	1,022	4,078
	1	1,002	3,999	0,950	3,792	0,833	3,326	0,830	3,311
	4	0,886	3,537	0,840	3,354	0,737	2,941	0,734	2,928

**Tabela A.6.4** - Custo Energético por Misturadora associado à produção de um *batch* (€/batch) e de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários (compostos FMF inverno3 até M1 componente12).

Período		Ponta		Cheia		Vazio		Supervazio	
Composto	Misturadora	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton
FMF inverno3	0	1,104	4,503	1,047	4,270	0,918	3,745	0,914	3,728
	1	1,057	4,313	1,002	4,090	0,879	3,587	0,875	3,571
	3	1,181	4,820	1,120	4,570	0,982	4,008	0,978	3,990
	4	1,116	4,554	1,058	4,317	0,928	3,786	0,924	3,769
FMF inverno4	0	1,324	5,062	1,255	4,799	1,101	4,209	1,096	4,190
	1	1,012	3,867	0,959	3,666	0,841	3,215	0,837	3,201
	3	1,080	4,130	1,024	3,915	0,898	3,434	0,894	3,419
FMF inverno5	0	1,078	4,491	1,022	4,257	0,896	3,734	0,892	3,717
	1	1,028	4,283	0,975	4,060	0,855	3,561	0,851	3,545
FMF inverno6	1	1,313	5,260	1,245	4,987	1,092	4,374	1,087	4,354
FMF inverno7	0	1,287	5,208	1,220	4,938	1,070	4,331	1,065	4,311
	1	1,022	4,137	0,969	3,922	0,850	3,440	0,846	3,424
M1 base1	5	1,678	7,487	1,591	7,099	1,395	6,226	1,389	6,198
	7	1,871	8,349	1,774	7,915	1,556	6,942	1,549	6,911
M1 base2	5	2,049	8,424	1,943	7,987	1,704	7,005	1,696	6,973
	7	2,093	8,603	1,984	8,157	1,740	7,154	1,732	7,122
M1 base3	5	1,722	7,294	1,632	6,915	1,432	6,065	1,425	6,038
	6	1,773	7,513	1,681	7,123	1,475	6,247	1,468	6,219
	7	1,880	7,965	1,783	7,552	1,563	6,623	1,556	6,593
	9	2,063	8,741	1,956	8,287	1,716	7,268	1,708	7,235
M1 componente1	4	1,566	6,683	1,484	6,336	1,302	5,557	1,296	5,532
M1 componente2	2	1,180	6,008	1,119	5,696	0,981	4,996	0,977	4,973
	4	1,504	7,659	1,426	7,262	1,251	6,369	1,245	6,340
	5	1,467	7,472	1,391	7,084	1,220	6,213	1,215	6,185
M1 componente3	2	1,306	6,332	1,238	6,003	1,086	5,265	1,081	5,241
M1 componente5	2	1,282	6,014	1,215	5,702	1,066	5,001	1,061	4,978
	4	1,650	7,742	1,565	7,340	1,372	6,438	1,366	6,409
M1 componente4	4	1,567	6,652	1,486	6,307	1,303	5,532	1,297	5,507
	5	1,514	6,427	1,435	6,094	1,259	5,344	1,253	5,320
M1 componente6	2	1,309	5,811	1,241	5,510	1,088	4,832	1,083	4,811
	4	1,618	7,184	1,534	6,811	1,345	5,973	1,339	5,946
	5	1,644	7,301	1,559	6,922	1,367	6,071	1,361	6,044
M1 componente7	4	1,516	6,489	1,437	6,152	1,261	5,395	1,255	5,371
	5	1,433	6,133	1,359	5,815	1,192	5,100	1,186	5,077
M1 componente9	4	1,768	7,870	1,676	7,461	1,470	6,544	1,464	6,514
	5	1,751	7,794	1,660	7,389	1,456	6,481	1,449	6,451
M1 componente10	2	1,415	7,072	1,342	6,705	1,177	5,881	1,172	5,854
M1 componente11	2	1,372	6,219	1,300	5,897	1,140	5,172	1,135	5,148
M1 componente12	2	1,591	7,172	1,509	6,800	1,323	5,964	1,317	5,937

**Tabela A.6.5** - Custo Energético por Misturadora associado à produção de um *batch* (€/batch) e de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários (compostos M1 componente13 até M1 verao22).

Período		Ponta		Cheia		Vazio		Supervazio	
Composto	Misturadora	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton
M1 componente13	2	1,607	7,283	1,524	6,905	1,337	6,056	1,331	6,028
M1 verao1	6	2,330	9,087	2,209	8,616	1,937	7,557	1,928	7,522
	7	4,101	15,999	3,888	15,169	3,410	13,304	3,395	13,243
M1 verao2	6	2,524	9,865	2,393	9,353	2,099	8,203	2,089	8,166
	7	2,720	10,630	2,578	10,078	2,261	8,839	2,251	8,799
M1 verao3	5	1,991	8,485	1,888	8,045	1,656	7,056	1,648	7,024
	6	1,953	8,323	1,852	7,891	1,624	6,921	1,617	6,890
	7	2,098	8,940	1,989	8,476	1,744	7,434	1,736	7,400
M1 verao4	6	2,576	10,129	2,442	9,603	2,142	8,422	2,132	8,384
	7	2,742	10,781	2,599	10,221	2,280	8,965	2,269	8,924
M1 verao5	6	2,744	10,961	2,602	10,392	2,282	9,114	2,272	9,073
M1 verao6	5	2,550	10,149	2,418	9,622	2,121	8,439	2,111	8,401
	7	2,685	10,686	2,546	10,132	2,233	8,886	2,223	8,846
M1 verao7	5	2,533	9,853	2,402	9,341	2,106	8,193	2,097	8,156
	6	2,423	9,426	2,298	8,937	2,015	7,838	2,006	7,803
	7	2,580	10,036	2,446	9,516	2,146	8,346	2,136	8,308
M1 verao8	6	2,856	11,197	2,707	10,616	2,375	9,311	2,364	9,269
	7	3,260	12,782	3,091	12,119	2,711	10,629	2,698	10,581
M1 verao9	6	2,457	9,979	2,329	9,461	2,043	8,298	2,034	8,260
	7	2,663	10,819	2,525	10,257	2,215	8,996	2,205	8,955
M1 verao10	6	2,258	9,288	2,141	8,806	1,878	7,723	1,869	7,688
	7	2,560	10,528	2,427	9,982	2,128	8,755	2,119	8,715
M1 verao11	7	2,649	10,594	2,511	10,044	2,202	8,809	2,192	8,770
M1 verao12	5	2,570	10,214	2,436	9,684	2,137	8,493	2,127	8,455
	6	2,557	10,164	2,424	9,636	2,126	8,451	2,117	8,413
	7	2,649	10,530	2,512	9,983	2,203	8,756	2,193	8,716
M1 verao13	7	2,631	11,002	2,495	10,431	2,188	9,148	2,178	9,107
M1 verao14	6	3,165	12,082	3,001	11,455	2,632	10,047	2,620	10,002
M1 verao15	6	2,431	9,475	2,305	8,984	2,021	7,879	2,012	7,844
M1 verao16	5	2,471	9,990	2,343	9,472	2,055	8,307	2,045	8,270
	7	2,764	11,177	2,621	10,597	2,299	9,294	2,288	9,252
M1 verao17	5	2,526	10,691	2,395	10,136	2,101	8,890	2,091	8,850
	7	2,937	12,427	2,784	11,782	2,442	10,334	2,431	10,287
M1 verao18	6	2,839	11,254	2,692	10,670	2,361	9,358	2,350	9,316
	7	2,955	11,715	2,802	11,107	2,457	9,742	2,446	9,698
M1 verao19	5	1,653	6,754	1,567	6,403	1,375	5,616	1,368	5,590
M1 verao20	5	2,500	9,767	2,370	9,260	2,079	8,122	2,070	8,085
	6	2,472	9,657	2,344	9,156	2,056	8,030	2,046	7,994
	7	2,648	10,343	2,510	9,807	2,202	8,601	2,192	8,562
M1 verao22	6	2,486	10,133	2,357	9,607	2,067	8,426	2,058	8,388

**Tabela A.6.6** - Custo Energético por Misturadora associado à produção de um *batch* (€/batch) e de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários (compostos M1 verao21 até R1 componente4).

Período		Ponta		Cheia		Vazio		Supervazio	
Composto	Misturadora	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton
M1 verao21	5	2,546	9,974	2,414	9,457	2,117	8,294	2,107	8,257
	6	2,698	10,569	2,558	10,021	2,243	8,788	2,233	8,749
	7	2,818	11,041	2,672	10,468	2,343	9,181	2,333	9,140
M1 verao24	5	2,523	9,984	2,392	9,466	2,098	8,302	2,088	8,265
	6	2,486	9,838	2,357	9,328	2,067	8,181	2,058	8,144
	7	2,487	9,842	2,358	9,332	2,068	8,184	2,059	8,147
M1 verao25	5	2,573	10,160	2,440	9,633	2,140	8,448	2,130	8,410
	6	2,470	9,753	2,342	9,247	2,054	8,110	2,045	8,073
	7	2,658	10,494	2,520	9,949	2,210	8,726	2,200	8,686
M1 verao26	6	2,348	9,590	2,226	9,093	1,952	7,975	1,944	7,939
	7	2,653	10,837	2,515	10,274	2,206	9,011	2,196	8,970
M1 verao27	6	2,574	9,947	2,440	9,431	2,140	8,271	2,130	8,234
M1 verao28	6	2,840	11,402	2,693	10,811	2,362	9,481	2,351	9,439
M1 inverno1	6	2,556	10,404	2,424	9,864	2,126	8,651	2,116	8,612
	7	2,632	10,710	2,495	10,154	2,188	8,906	2,178	8,866
M1 inverno2	7	2,608	10,610	2,473	10,059	2,169	8,822	2,159	8,782
M1 inverno3	7	3,012	11,803	2,856	11,191	2,505	9,815	2,494	9,770
M1 inverno4	6	2,903	11,371	2,752	10,781	2,414	9,455	2,403	9,412
	7	3,011	11,795	2,855	11,183	2,504	9,808	2,493	9,764
M1 inverno5	6	2,990	11,659	2,835	11,054	2,486	9,695	2,475	9,651
	7	3,093	12,060	2,933	11,434	2,572	10,028	2,560	9,983
M1 inverno7	6	3,304	12,620	3,132	11,965	2,747	10,494	2,735	10,446
M2 componente3	2	1,245	5,549	1,180	5,261	1,035	4,614	1,030	4,594
M2 componente6	2	1,064	4,303	1,009	4,080	0,885	3,578	0,881	3,562
	4	1,421	5,748	1,347	5,450	1,182	4,780	1,176	4,758
	5	1,466	5,932	1,390	5,624	1,219	4,933	1,214	4,910
M2 componente9	4	1,521	7,194	1,442	6,820	1,264	5,982	1,259	5,955
	5	1,470	6,952	1,393	6,591	1,222	5,781	1,216	5,755
M2 componente10	2	1,436	6,970	1,361	6,609	1,194	5,796	1,189	5,770
M2 verao1	6	1,655	7,012	1,569	6,648	1,376	5,831	1,370	5,804
	7	2,849	12,073	2,701	11,447	2,369	10,039	2,358	9,994
M2 verao5	6	1,866	7,933	1,769	7,521	1,551	6,597	1,544	6,567
	7	3,191	13,568	3,026	12,864	2,654	11,283	2,642	11,231
R1 base1	5	1,384	6,436	1,312	6,102	1,151	5,352	1,145	5,328
	7	1,278	5,942	1,211	5,634	1,062	4,941	1,058	4,919
R1 base2	4	1,076	4,958	1,020	4,701	0,895	4,123	0,891	4,104
	5	1,536	7,078	1,456	6,711	1,277	5,886	1,271	5,859
	7	1,412	6,505	1,338	6,167	1,174	5,409	1,168	5,385
R1 componente4	4	1,500	6,358	1,423	6,028	1,248	5,287	1,242	5,263
	5	1,460	6,187	1,384	5,866	1,214	5,144	1,209	5,121



**Tabela A.6.7** - Custo Energético por Misturadora associado à produção de um *batch* (€/batch) e de uma tonelada (€/ton) de cada composto, para os quatro períodos tarifários (compostos R1 componente10 até workoff2).

Período		Ponta		Cheia		Vazio		Supervazio	
Composto	Misturadora	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton	€/batch	€/ton
R1 componente10	4	1,603	7,632	1,519	7,236	1,333	6,346	1,327	6,317
	5	1,746	8,312	1,655	7,881	1,451	6,912	1,445	6,880
	6	1,677	7,984	1,590	7,570	1,394	6,639	1,388	6,609
	7	1,722	8,202	1,633	7,776	1,432	6,820	1,426	6,789
R1 verao3	5	1,467	6,257	1,391	5,932	1,220	5,203	1,215	5,179
	6	1,441	6,145	1,366	5,826	1,198	5,110	1,193	5,087
	7	1,349	5,753	1,279	5,454	1,122	4,783	1,117	4,762
R1 verao4	6	1,427	5,597	1,353	5,306	1,187	4,654	1,181	4,633
	7	1,503	5,895	1,425	5,589	1,250	4,902	1,244	4,880
R1 verao5	6	0,855	3,637	0,810	3,449	0,711	3,025	0,708	3,011
	7	0,798	3,395	0,756	3,219	0,663	2,823	0,660	2,810
R1 verao8	6	1,446	5,854	1,371	5,551	1,202	4,868	1,197	4,846
	7	1,641	6,645	1,556	6,301	1,365	5,526	1,359	5,501
R1 verao14	6	1,472	5,983	1,395	5,673	1,224	4,975	1,218	4,953
R1 verao18	6	1,440	5,716	1,366	5,419	1,198	4,753	1,192	4,732
	7	1,484	5,890	1,407	5,585	1,234	4,898	1,229	4,876
R1 verao24	5	1,342	5,305	1,272	5,029	1,116	4,411	1,111	4,391
	6	1,378	5,445	1,306	5,162	1,146	4,528	1,140	4,507
	7	1,294	5,115	1,227	4,850	1,076	4,253	1,071	4,234
R1 verao25	5	1,326	5,241	1,257	4,969	1,103	4,358	1,098	4,338
	6	1,357	5,363	1,286	5,085	1,128	4,459	1,123	4,439
	7	1,246	4,925	1,181	4,669	1,036	4,095	1,031	4,077
R1 verao26	5	1,353	5,759	1,283	5,460	1,125	4,789	1,120	4,767
	6	1,321	5,620	1,252	5,329	1,098	4,673	1,093	4,652
	7	1,501	6,386	1,423	6,054	1,248	5,310	1,242	5,286
R1 verao27	6	1,377	5,466	1,306	5,182	1,145	4,545	1,140	4,525
workoff1	4	0,561	2,672	0,532	2,533	0,467	2,222	0,464	2,212
workoff2	3	0,539	2,567	0,511	2,433	0,448	2,134	0,446	2,125
	9	0,574	2,735	0,544	2,593	0,478	2,274	0,475	2,264